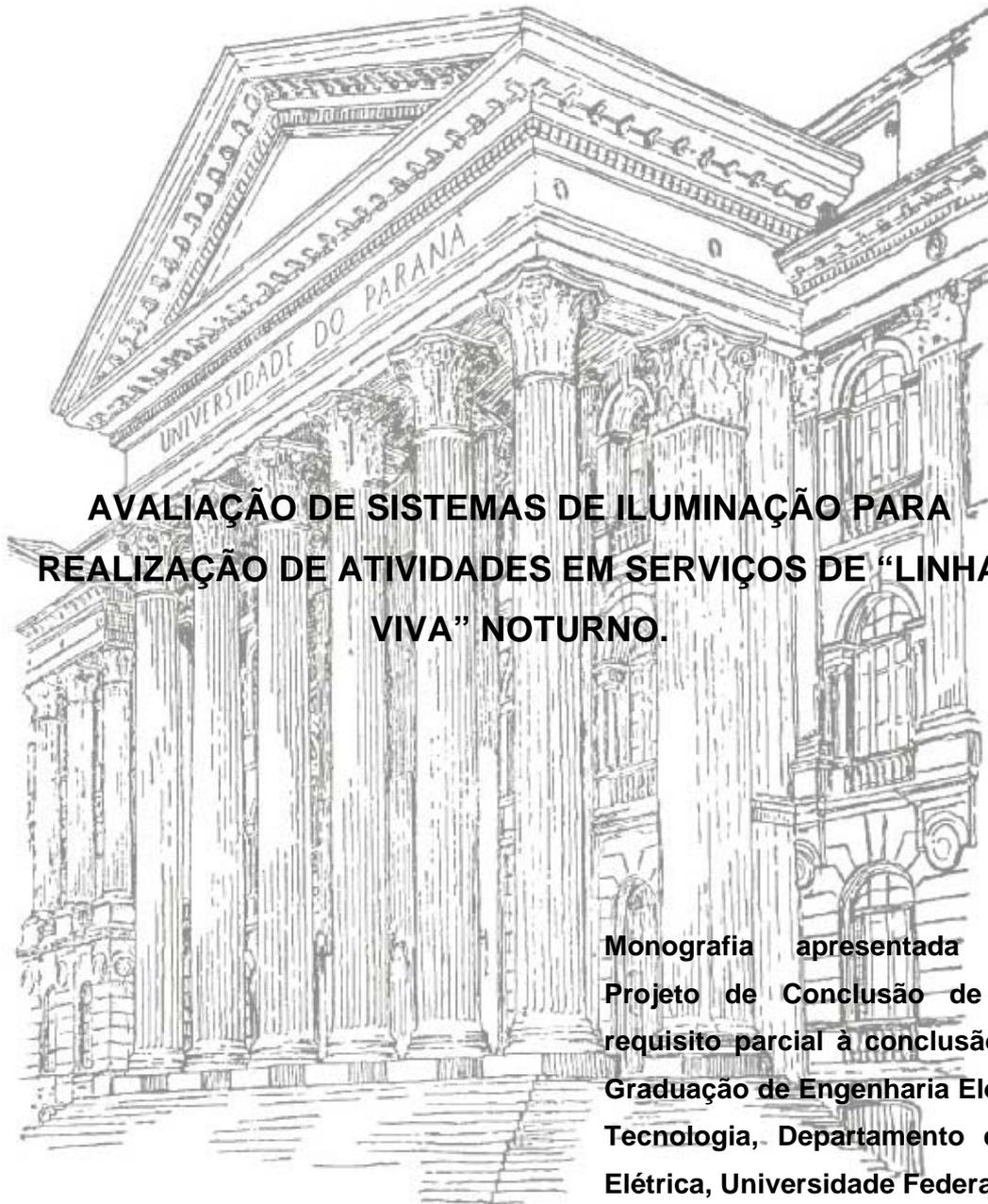
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**WILLIAM SLEMBARSKI DAS CHAGAS**

# AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES EM SERVIÇOS DE "LINHA VIVA" NOTURNO.

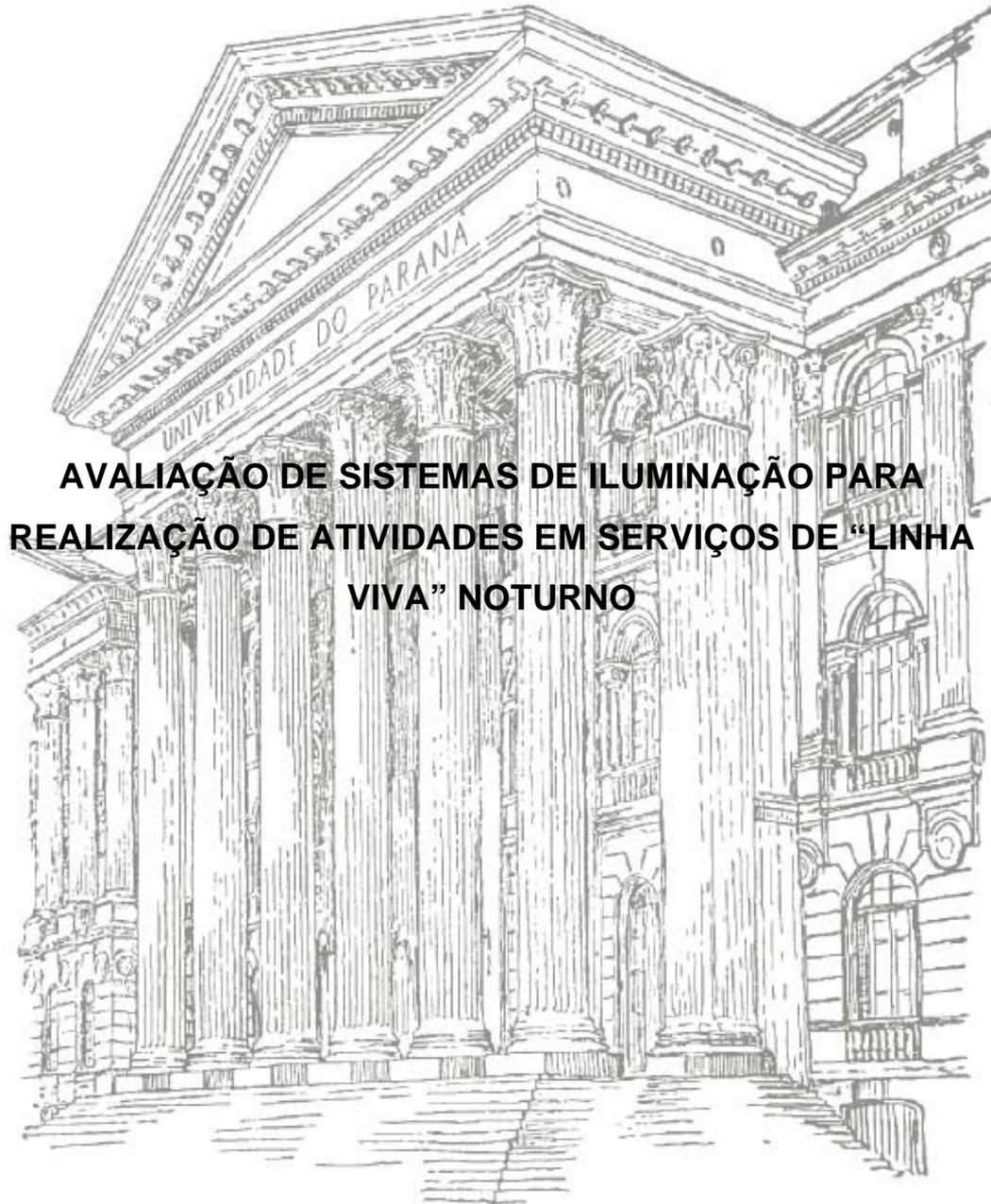
**Monografia apresentada à disciplina Projeto de Conclusão de Curso como requisito parcial à conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof.Dr. Edemir Luiz Kowalski**

**Co-Orientador: Eng. Guilherme Rachelle Hernaski**

**CURITIBA**

**2011**

**WILLIAM SLEMBARSKI DAS CHAGAS**

# AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES EM SERVIÇOS DE "LINHA VIVA" NOTURNO

**CURITIBA**

**2011**

# Agradecimentos

Agradeço os meus pais e familiares por todos os esforços realizados.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski, pela orientação, amizade, conhecimento e paciência cedidos para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço ao LACTEC pelo apoio que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, bem como todos seus colaboradores, que me apoiaram durante o período de estudos.

Agradeço minha esposa Gisele e a minha filha Anny Beatriz, pela paciência, dedicação e amor compartido nesse difícil período.

Agradeço a todos os colegas e professores que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná por oferecer um ensino público, gratuito e de qualidade.

# Resumo


O Município de Salvador (BA) por meio de uma legislação própria determina que trabalhos que necessitam de intervenção em vias públicas sejam restritos a manutenção apenas no período noturno. Outras grandes capitais já estudam a possibilidade de aplicar a mesma legislação.

As concessionárias distribuidoras de energia atualmente encontram dificuldade em manter os índices de qualidade no fornecimento de energia com a manutenção de suas redes sendo executadas durante o período diurno. Frente às novas legislações esta situação tende a se tornar mais complexa. Atualmente as distribuidoras de energia elétrica executam a manutenção de suas redes somente no período diurno, e os serviços em linha viva somente são executados sob certas condições ambientais. O serviço à noite somente é realizado em situações emergenciais.

Observa-se que parte dos serviços de manutenção poderia ser realizado durante a madrugada, nos momentos de menor circulação de pedestres e veículos, garantindo a segurança destes sem prejudicar o movimento do local. Alguns fatores como, falta de normalização para esse tipo de trabalho, falta de treinamento, iluminação de má qualidade faz com que esse tipo de serviço mesmo sem impedimentos legais não seja realizado. A fim de contornar estes gargalos e paradigmas da manutenção de redes, esse trabalho foi desenvolvido objetivando analisar as normas técnicas e legislações existentes e simular sistemas de iluminação que possibilitem iluminar as áreas de trabalho dos eletricistas em linha viva atuam em certas atividades garantindo segurança e respeitando as legislações trabalhistas.

Como resultado deste trabalho, verifica-se que grande parte das atividades realizadas pelas equipes de manutenção em linha viva possui grau de complexidade relativamente baixo, bem como as simulações realizadas mostram que é possível garantir níveis de iluminação seguros para a manutenção no período noturno.



*Palavras-chave*: Manutenção de redes, Manutenção Noturna, Serviço em Linha Viva, Simulação de Iluminação.

# Abstract

The city of Salvador (BA) through an own legislation requires intervention on public roads is restricted to maintenance during the night only. Other big cities are already exploring the possibility of applying the same legislation.

The electrical distribution system companies currently have difficulty in obtaining data and indexing the quality of the power supply to the maintenance of their networks running during the daytime. Faced with this new legislation tends to become more complex. Currently, the electrical distribution system companies perform the maintenance of their networks only in the daytime and "live line system" services only run under certain environmental conditions. The evening service is performed in emergency situations only.

It is observed that part of the maintenance could be performed overnight, at times of less circulation of pedestrians and vehicles, ensuring their safety without affecting the local movement. Certain factors like the low standards for this type of work, lack of training and the poor lighting makes this type of service even without legal impediment will not be realized. In order to overcome these drawbacks and paradigms of network maintenance, this monograph was developed aiming to analyze the technical standards, the existing laws on the subject and simulate lighting systems that allow light the work areas of the "live line system" electricians working in certain activities ensuring safety and respecting labor laws.

As a result of this monograph, it appears that most of the activities performed by maintenance crews "live line system" distribution have relatively low degree of complexity, the simulations show that it is possible to ensure safe levels of lighting for maintenance during the night as well.

Keywords: distribution system maintenance, night maintenance, live line service, lighting simulation.

# Sumário

# Lista de Figuras

# Lista de Tabelas

# Lista de Quadros

# Lista de Símbolos e Acrônimos

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

BA – Estado da Bahia.

NR-10 – Norma Regulamentadora Nº10.

NR-18 – Norma Regulamentadora Nº18.

EPI – Equipamento de Proteção Individual.

EPC – Equipamento de Proteção Coletiva.

OSHA – Occupational Safety and Health Administration.

a.C. – Antes de Cristo.

CIE – International Commission on Illumination.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABILUX - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação.

NBR - Texto Normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

nm – Unidade de comprimento - Nanômetro.

UV-A – Radiação ultravioleta do tipo A.

UV-B – Radiação ultravioleta do tipo B.

UV-C – Radiação ultravioleta do tipo C.

IR-A – Radiação infravermelha do tipo A.

IR-B – Radiação infravermelha do tipo B.

IR-C – Radiação infravermelha do tipo C.

lm – lúmen – Unidade de fluxo luminoso.

$\Phi$ – Símbolo de fluxo luminoso.

W – Watt - Unidade elétrica de potência.

Lm/W – Lúmen/Watt – Unidade de eficiência luminosa.

$\eta$ – Símbolo de eficiência luminosa.

cd – Candela – Unidade de intensidade luminosa.

I – Símbolo de intensidade luminosa.

lx – lux ou lúmen/$m^2$ - Unidade de iluminância.

A – Símbolo de área.

E – Símbolo de iluminância.

m – Unidade de comprimento – metro.

IESNA - Illuminating Engineering Society of North America.

L – Símbolo de Luminância.

dl – elemento de luminância.

dA – elemento de superfície.

FEIS - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

DXF - Drawing Exchange Format.

DWG – Development Working Group.

COELBA - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia.

# 1. Introdução

Em grande parte dos países, existe uma crescente preocupação com as condições operativas das redes elétricas de distribuição e transmissão, em função do aumento de demanda de energia e do envelhecimento do ativo. Esta preocupação tem levado as concessionárias a investir cada vez mais em técnicas de manutenção com redes energizadas. Para tal, certos paradigmas vêm sendo quebrados para que serviços que deveriam apenas ser realizados com redes desligadas, hoje são realizados com redes energizadas como, por exemplo, a substituição de condutores em média e baixa tensão [1].

No Brasil o serviço de manutenção das redes elétricas de distribuição energizada vem se tornando indispensável para o cumprimento das metas estabelecidas pela ANEEL, quanto à qualidade no fornecimento de energia elétrica ao consumidor e a elevação do nível de satisfação do cliente.

A prática do serviço com redes energizadas é uma ferramenta indispensável para as concessionárias em busca de melhores índices de fornecimento de energia, garantindo a continuidade da venda de energia ao consumidor, além de garantir a este uma melhor qualidade de vida.

O serviço em linha viva pode ser realizado em qualquer ponto da rede, desde que as tarefas a serem executadas tenham metodologia e procedimentos seguros, bem como o ferramental necessário para tal. Em certos casos, porém, o movimento de pedestres e veículos dificulta, e até mesmo impede, a realização do serviço.

Ocorre que parte destes serviços poderiam ser realizados durante a madrugada, nos momentos de menor circulação de pedestres e veículos, garantindo a segurança destes sem prejudicar o movimento do local. Além disso, já existe uma legislação própria, para o município de Salvador (BA), onde o trabalho que necessita intervenção em vias públicas é restrito a manutenção apenas no período noturno [2,3] e se observa que grandes capitais como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre já estudam em suas Câmaras Municipais projetos de Lei semelhantes.

Atualmente, contudo, não existe uma padronização e procedimentos para a realização do serviço noturno em redes energizadas. Segundo as

equipes técnicas de várias concessionárias consultadas, a dificuldade deste tipo de serviço se fundamenta, na iluminação atualmente empregada para a realização do mesmo. Estas equipes afirmam que existem pontos onde a iluminação não é suficiente devido a sombras ou penumbras. Estas regiões, pouco iluminadas, além de dificultar a realização do trabalho poderiam provocar acidentes fatais.  Estas dificuldades técnicas poderão ser superadas com um amplo estudo sobre formas de iluminação que garantam os níveis de iluminação exigidos por legislação para a execução destas atividades, porém levando em conta primeiramente a segurança e saúde dos trabalhadores.

# 2. Objetivos do Trabalho

Observando a oportunidade de se antecipar ao futuro problema, onde as atividades de manutenção dos serviços públicos nas grandes cidades tenderão a ser realizadas no período noturno, pretende-se com este trabalho, realizar simulações com software especialista de iluminação de situações de realização de atividades comuns à manutenção de redes de distribuição em linha viva, de forma a determinar as condições necessárias a um sistema de iluminação artificial que garanta as condições mínimas de luminosidade segundo a legislação. Para se atingir este objetivo, serão necessários alguns estudos e levantamentos, citados a seguir, como objetivos secundários deste trabalho;

a) Estudo das legislações vigentes sobre condições de iluminação de ambientes laboriais;
b) Identificação de software especialista para realização de simulação de iluminação em ambientes externos;
c) Realização de medidas de iluminação em estruturas de linhas de distribuição no período diurno;
d) Realização de simulações de iluminação em software especialista procurando-se obter posições relativas do sistema de iluminação em relação às estruturas e características de projeto necessárias ao sistema de forma a garantir as condições de iluminação levantadas.

# 3. Revisão bibliográfica

Neste capítulo será apresentada revisão da bibliografia sobre o serviço de manutenção de redes, luz e suas propriedades físicas, bem como a forma de percepção do mesmo pelo homem, legislações sobre manutenção de redes e características de projeto necessárias aos sistemas de iluminação.

## 3.1. Serviço em redes

### 3.1.1. Manutenção com rede desenergizada – Linha Morta

Todas as atividades envolvendo manutenção no setor elétrico devem priorizar os trabalhos com circuitos desenergizados, quando possível, e devem ser realizadas por trabalhador qualificado com a supervisão por profissional legalmente habilitado segundo a NR-18. Apesar de desenergizada devem obedecer a procedimentos e medidas de segurança adequados como determina na NR-10. Segundo a NR-10, somente serão consideradas desenergizadas e liberadas para serviço as instalações elétricas que seguirem os seguintes procedimentos: seccionamento, impedimento de reenergização, constatação da ausência de tensão, instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos, proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada e instalação da sinalização de impedimento de energização. Seguindo estas recomendações todo serviço de manutenção com rede desenergizada pode ser realizado em princípio sem problemas e de forma segura. Segundo o manual de instruções técnicas da Copel número 160912 de dezembro de 2007, para manutenção de redes de distribuição, diz que todo serviço deve ser realizado com pessoal devidamente treinado, descansado e com todos os EPI`s devidamente vestidos e testados, para que o serviço ocorra da maneira mais segura [4, 5, 6, 7].

### 3.1.2. Manutenção com rede energizada – Linha Viva

Segundo a NR-18, quando não for possível desligar o circuito elétrico, o serviço somente poderá ser executado após terem sido adotadas as medidas de proteção complementares, sendo obrigatório o uso de ferramentas apropriadas e EPI's determinados na NR-10, que devem ser os adequados para cada faixa de tensão [5,6].

Os trabalhos executados em linha viva devem ser realizados mediante a adoção de procedimentos e metodologias que garantam a segurança dos trabalhadores. Estão associados às atividades realizadas na rede de alta tensão energizada mediante os métodos abaixo [5]:

**Método ao contato**: O trabalhador tem contato com a rede energizada, mas não fica no mesmo potencial da rede elétrica, pois está devidamente isolado desta, utilizando EPI's e EPC's adequados à tensão da rede como mostra a Figura 1a [5].

**Método ao potencial:** É o método onde o trabalhador fica em contato direto com a tensão da rede, no mesmo potencial. Nesse método é necessário o emprego de medidas de segurança que garantam o mesmo potencial elétrico no corpo inteiro do trabalhador, devendo ser utilizado conjunto de vestimenta condutiva (roupas, capuzes, luvas e botas), ligadas através de cabo condutor elétrico e cinto à rede objeto da atividade como pode ser observado na Figura 1b [5].

**Método à distância:** É o método onde o trabalhador interage com a parte energizada a uma distância segura, através do emprego de procedimentos, estruturas, equipamentos, ferramentas e dispositivos isolantes apropriados como se pode visualizar na Figura 1c [5].

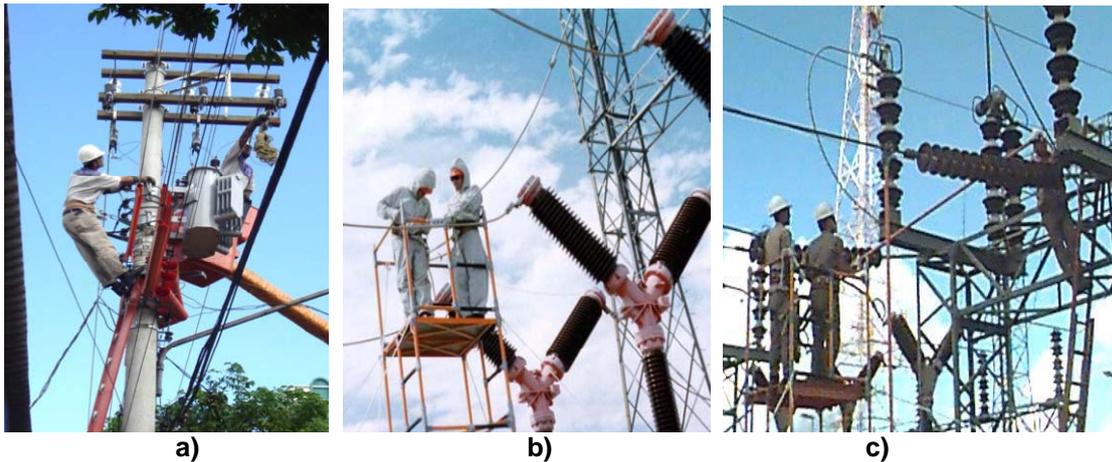



**Figura 1 - Trabalhos executados em linha viva: a) método ao contato; b) método ao potencial e c) método à distância [8].**

Segundo pesquisas realizadas, a maior parte dos acidentes ocorre devido à imprudência da própria pessoa e em 98% dos casos eles não chegam a ser fatais. Na maioria das vezes os acidentes que ocorrem por ato inseguro são por imprudência, sendo os principais: descuidar-se, assumir posição ou postura insegura, deixar de usar EPI disponível, usar parte do corpo impropriamente, dirigir incorretamente, usar equipamento de maneira imprópria. Vê-se que para a maior parte dos acidentes graves existe proteção, então uma fatalidade na manutenção em linha viva é muito baixa [9, 10].

Cuidados preliminares devem ser tomados para manutenção em linha viva. Deve-se realizar uma visita ao local com a finalidade de conhecer o ponto que será feita a manutenção, onde a principal dificuldade que poderá ser encontrada é a identificação dos pontos elétricos energizados. O órgão de operação de distribuição deve ser avisado e para isso há necessidade de algum tipo de comunicação com a equipe. No dia da manutenção o órgão de distribuição deve ser devidamente informado sobre os pontos elétricos e os equipamentos onde a equipe irá trabalhar. Deve ser realizado o bloqueio de circuito, retirada de serviço do relé religador, com as devidas marcações de que tem uma equipe trabalhando em linha viva. Deve haver uma liberação pelo órgão de operação da distribuição do circuito para que os eletricistas de linha viva possam trabalhar. As condições meteorológicas devem ser respeitadas, com os trabalhos sendo realizados de preferência no período diurno, e com boas condições meteorológicas. Os trabalhos realizados no período noturno

devem contar com pessoal devidamente treinado, condições físicas favoráveis, iluminação adequada e permitir a circulação tanto de pessoas como de veículos. Fica proibida manutenção em linha viva com circuitos de condutores em fio, devido ao risco de rompimento. Uma inspeção preliminar deve ser feita antes no serviço com relação às condições dos postes e estruturas. Uma reunião deve ser realizada antes do trabalho a fim de se avaliar as condições físicas, psicológicas e o preparo técnico da equipe. Exames médicos devem ser realizados periodicamente para garantir a integridade física dos trabalhadores de linha viva, bem como a aplicação de métodos e procedimentos durante o trabalho e execução das atividades. O local deve estar devidamente sinalizado e a verificação da segurança deve ser um item inicialmente priorizado [9].

Além desses cuidados antes da realização do serviço, vários outros devem ser tomados, tais como o uso de EPI`s e EPC`s por parte da equipe, todos os trabalhadores devem estar devidamente treinados para trabalhar com linha viva, não se pode tocar qualquer parte energizada sem as devidas precauções. O cuidado com a limpeza das ferramentas que serão utilizadas é sempre responsabilidade de seus usuários, antes e após a realização das atividades [9].

### 3.1.3. Legislação para o serviço em redes

Atualmente não existe uma legislação específica para o serviço em redes de distribuição de energia elétrica, o que se tem são apenas manuais de instruções técnicas e de segurança para o serviço de manutenção preventiva, preditiva ou emergencial das próprias prestadoras de serviços elétricos, que são manuais guias que devem ser seguidos para que o serviço seja realizado de forma segura. As normas regulamentadoras NR-10 e NR-18 dizem respeito à segurança em instalações e serviços em eletricidade e de segurança e saúde no trabalho, tratam especificamente da segurança das pessoas e trabalhadores e trazem etapas que devem ser seguidas para executar serviços com segurança.

#### 3.1.3.1. Manutenção diurna

De acordo com as normas regulamentadoras NR-10 e NR-18 toda manutenção diurna deve ser realizada por pessoal devidamente treinado, preparado e com todos os EPI's e EPC's necessários para realização dos serviços. Esses são os únicos impedimentos técnicos que são preconizados para realização da manutenção diurna. Existe outro impedimento que é de caráter natural que impede a realização dos serviços de manutenção diurna, em função de condições meteorológicas [5,6,7].

#### 3.1.3.2. Manutenção noturna

No Brasil não existe nenhum impedimento na legislação que impossibilite a realização da manutenção noturna, desde que seja realizada seguindo as normas regulamentadoras NR-10 e NR-18 e sejam respeitados os mínimos padrões de iluminação. Segundo a OSHA não existe impedimentos para a realização do trabalho noturno, onde a única instrução é que as torres de iluminação ou luzes portáteis de emergência devem ser fornecidas para atender as necessidades para realização do trabalho com segurança. Vê-se também no manual da Westernpower que diz que o trabalho em alta tensão noturno deve respeitar  os seguintes requisitos: a) A iluminação deve abranger todos os pontos de contato dentro da área de trabalho, b) Deve haver luz suficiente para que condutores e peças possam ser facilmente vistos, c) Tanto os trabalhadores que se encontram no cesto aéreo do caminhão trabalhando no poste, quanto o observador ao nível do solo devem ser capazes de identificar todos os objetos na área de trabalho, d) O trabalho é restrito à área de iluminação [11, 12].

## 3.2. Origens da iluminação

### 3.2.1. O papel da iluminação para o homem

A partir da Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, houve uma mudança econômica e do modo de vida das pessoas que passaram a viver nas cidades e passaram a ter acesso aos bens industrializados. Foi uma época caracterizada pela desvalorização do trabalho manual, que foi substituído em parte por máquinas, criando os ambientes fabris. No início esses ambientes fabris eram de condições inadequadas ao trabalho. A iluminação e a ventilação eram péssimas e não haviam medidas nem equipamentos de segurança para os operários e muitos acabavam se acidentando ou contraindo doenças. As condições de vida e de trabalho eram precárias, então os operários começaram a se unir e organizar movimentos e revoltas. Neste contexto a iluminação passa não apenas representar proteção e segurança, como também a adaptação ao trabalho em recintos escuros, como uma das reivindicações desses movimentos e revoltas [13, 14].

Neste momento em que o homem reivindica e exige melhores condições e direitos como trabalhador, é criado um novo ramo especializado do conhecimento, definido como Engenharia de Iluminação. Com ela tem-se a iluminação artificial que permite ao homem utilizar as edificações no período noturno ou até mesmo no período diurno para dar continuidade a suas atividades, melhorar condições de trabalho ou se divertir. Os objetivos essenciais de um sistema de iluminação são estudados, vistos e discutidos pelas universidades, pelos centros de pesquisa e pelos fabricantes, para obter sempre a melhor tecnologia [13, 15].

Na Engenharia de Iluminação fatores como a subjetividade em decoração e a influência na psicologia dos indivíduos devem ser estudados com a finalidade de se obter a melhor combinação de luz para as diversas tarefas do dia a dia [13].

### 3.2.2. A produção da luz

Historicamente a produção da luz é dividida em quatro fases, que são definidas de acordo com a evolução histórica da época. Essas quatro fases ou gerações técnicas estão divididas em: preocupação do homem em criar o fogo, controlá-lo, mantê-lo e transportá-lo por certo período de tempo. Esta primeira fase teve seu inicio na Idade da Pedra e terminou com o desenvolvimento da vela e da lâmpada a óleo, no período do Império Romano. A segunda fase começou com a preocupação de criar sistemas de iluminação mais econômicos e que fossem mais eficientes. Foi à época do desenvolvimento do lampião com camisa, por volta de 1852. A terceira fase começa com a descoberta da energia elétrica e a utilização dela em sistemas de iluminação. Baseados nessa nova tecnologia teve-se a produção da lâmpada incandescente, usando filamento de carbono. A quarta fase que é a que vivemos atualmente é compreendida basicamente pelo desenvolvimento de sistemas de iluminação que integram as fontes luminosas com os respectivos sistemas ópticos, aliando rendimentos luminosos para o conjunto, com boa reprodução de cores. O Quadro 1 apresenta de forma resumida a evolução das fontes luminosas e seus desafios para a época [13].

***Quadro 1:*** *Etapas evolutivas da produção da luz e seus desafios*

| ANO | FONTE LUMINOSA | DESAFIO TECNOLÓGICO |
|---|---|---|
| Domínio do fogo | | |
| ? | Descoberta do fogo | Como iniciar? |
| 500000 a.C. | Fogueira | Como controlar? |
| 200000 a.C. | Tocha | Como manter? |
| 20000 a.C. | Lâmpada a óleo animal | Como facilitar transporte? |
| Século I | Vela de cera | Como ter em quantidade? |
| 1780 | Vela de espermacete | Como popularizar? |
| 1784 | Lampião Argand | Como usar em via publica? |
| 1803 | Lampião a gás de carvão | Como aumentar a intensidade? |
| Domínio da eletricidade | | |
| 1808 | Arco voltaico | Como manter constante o arco? |
| 1830 | Vela parafínica | ... fim ... |
| 1847 | Lampião de óleo parafínico | Como aumentar a luz? |
| 1878 | Lâmpada incandescente de carvão | Como aumentar a vida útil? |
| 1880 | Arco voltaico controlado | Como aumentar a segurança? |
| 1887 | Lampião com camisa | ... fim ... |
| 1893 | Arco voltaico encapsulado | ... fim ... |

| | | |
|---|---|---|
| 1901 | Lâmpada vapor mercúrio baixa pressão | Como alimentar em CA? |
| 1902 | Lâmpada incandescente de ósmio | Como baratear o filamento |
| 1906 | Lâmpada incandescente de tântalo | Como evitar a quebra do filamento? |
| 1907 | Lâmpada incandescente de tungstênio | Como aumentar o filamento? |
| 1908 | Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão | Como evitar a alta radiação UV? |
| 1912 | Lâmpada incandescente tungstênio espiral | Como aumentar a eficiência? |
| 1931 | Lâmpada vapor de sódio baixa pressão | Como alimentar em CA? |
| 1932 | Lâmpada fluorescente | Como melhorar a reprodução de cor? |
| 1933 | Lâmpada incandescente espiral dupla | Como aumentar mais a eficiência? |
| 1933 | Lâmpada vapor de sódio baixa pressão | Como melhorar a reprodução de cor? |
| 1934 | Lâmpada incandescente espiral tripla | Como economizar energia? |
| 1935 | Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão | Como melhorar reprodução de cor? |
| 1941 | Lâmpada de luz mista | Como montar em qualquer posição? |
| 1955 | Lâmpada vapor sódio alta pressão | Como sinterizar o alumínio? |
| 1959 | Lâmpada incandescente alógena | Como direcionar o calor irradiado? |
| 1964 | Lâmpada vapor a iodetos metálicos | Como ascender rapidamente? |
| 1965 | Lâmpada vapor de sódio alta pressão | Como melhorar a reprodução de cor? |
| Choque do petróleo | | |
| 1973 | Lâmpada fluorescente de pós emissivos | Como melhorar sua eficácia? |
| 1980 | Lâmpada fluorescente compacta | Como aumentar o desempenho? |
| 1987 | Lâmpada incandescente econômica | Como conscientizar o usuário? |
| 1988 | Sistemas integrados | Como popularizar? |
| 1991 | Lâmpada de indução | Como tornar competitiva co outros sistemas? |
| 1992 | Lâmpada fluorescente eletrônica compacta | Como reduzir custos para vender em massa? |
| 1994 | Lâmpada de enxofre | Como criar variedade de potencias para uso? |
| 1996 | Lâmpada fluorescente de 16mm diâmetro | Como adaptar aos sistemas existentes? |

## 3.3. Legislação

### 3.3.1. A comissão internacional de iluminação

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) foi criada em 1900. Na época de sua criação o objetivo era harmonizar internacionalmente os critérios de medição fotométrica para a iluminação a gás. Seus trabalhos se estenderam posteriormente à iluminação elétrica, que se expandia rapidamente. Surgia então a necessidade de novos campos de pesquisas, voltados para a visão, a luz e a calorimetria, que estimularam a fundação da CIE. Desde sua criação vem se dedicando ao intercambio de informações de assuntos pertinentes à

ciência e a arte da iluminação. Nos dias atuais é aceita como uma organização internacional de caráter normativo, sendo reconhecida pelos mais renomados institutos [13, 16].

Atualmente a comissão conta com quarenta países membros e está estruturada em sete divisões técnicas, onde se desenvolvem todos os trabalhos de pesquisa, por equipes internacionais de especialistas de cada setor específico. A cada quatro anos são realizadas reuniões internacionais com os países membros e periodicamente são realizadas reuniões com as divisões técnicas com intuito de discutir e desenvolver padrões regionais, nacionais e internacionais. No Brasil, o representante é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mas existe também, a Associação Brasileira das Indústrias de Iluminação (ABILUX) [13,16].

As normas de iluminação estão, em geral, intimamente ligadas com os produtos estudados e desenvolvidos pelos fabricantes, e é difícil estabelecerem-se normas específicas, pois os produtos de iluminação como luminárias, por exemplo, são próprios de cada fabricante. Para contornar está dificuldade técnica duas alternativas são possíveis: a primeira é que sejam executados vários projetos, sendo um específico para cada modelo produzido por fabricantes; ou então, apresentar dados definidos para a execução do projeto, tomando por base uma recomendação técnica para o cálculo, e o resultado final será definido pelo melhor desempenho do sistema de iluminação [13].

### 3.3.2. Organismos brasileiros

No Brasil as normas ou recomendações relativas ao projeto de um sistema de iluminação são muito escassas. De caráter fundamental a NBR 5413, referente aos Níveis Mínimos de Iluminação, é o ponto de partida para os projetos. Uma vez executado o projeto, a medição deverá ser realizada com o emprego da NBR 5382 – Verificação de Iluminância de Interiores. Tem-se também o uso da NBR 5461 que trata da Terminologia para Iluminação como forma de definição das grandezas e unidades empregadas. Não há uma recomendação para o cálculo de projetos de iluminação em recintos fechados

ou abertos. Como a maioria dos fabricantes são estrangeiros, eles acabam usando normas internacionais em seus produtos feitos no Brasil pela falta de regulamentação dos sistemas aqui no país [13].

## 3.4. Radiação

### 3.4.1. O espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. A ciência caracterizou e dividiu essas intensidades de radiação em conjuntos e deu o nome de espectro eletromagnético. As ondas eletromagnéticas são criadas pela movimentação dos elétrons e, além disso, elas possuem diferentes características físicas como a intensidade, comprimento de onda, frequência, energia, polarização entre outros. As ondas eletromagnéticas independem da existência ou não de um meio físico, podendo assim propagar-se até mesmo no vácuo. A faixa de comprimentos de onda ou frequências em que se pode encontrar a radiação eletromagnética é ilimitada [13,17].

O espectro eletromagnético é subdividido em faixas de frequência e para melhor compreensão é dividida em ondas, que está subdividida em industriais (baixas frequências) e hertzianas (frequências elevadas), onde se localizam as comunicações e radar por exemplo. Após termino das ondas tem-se as radiações, que iniciam com as ondas infravermelhas, percebidas sob a forma de calor, passando pelas radiações ditas visíveis e continuando com as ultravioletas, raios X, raios gama e raios cósmicos. O espectro eletromagnético pode ser visto com maior detalhe na Figura 2 [13, 17, 18].

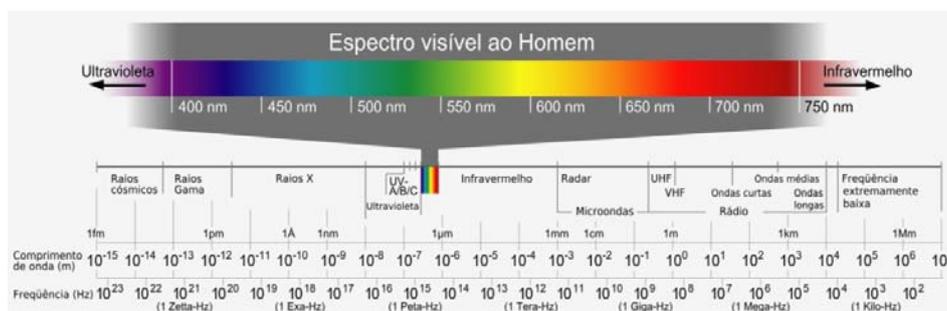



**Figura 2 – O espectro Eletromagnético [17].**

De importância para a iluminação existem três regiões ou faixas, do espectro que devem ser consideradas: a região ultravioleta, a região visível e a região infravermelha. O ser humano é foto sensível para a região do espectro eletromagnético compreendido entre 380 nm e 780 nm que é a região entre os raios ultravioletas e os infravermelhos. Denomina-se este conjunto de luz visível, faixa que é variável segundo as características individuais da visão humana. A radiação visível tradicionalmente tem os seguintes limites [13]:

- violeta 380 a 435 nm;
- azul 436 a 495 nm;
- verde 496 a 565 nm;
- amarela 566 a 589 nm;
- laranja 590 a 627 nm;
- vermelha 628 a 780 nm;

A radiação ultravioleta é aquela que sucede ao violeta no espectro eletromagnético. Divide-se em três faixas: UV-A, UV-B e UV-C. A primeira atravessa a maioria dos vidros e provoca a fluorescência; a segunda tem ação terapêutica sobre a pele, criando efeito eritêmico e formando vitamina D; a terceira e última apresenta efeito germicida e atuam sobre bactérias, fungos e micro-organismos. Como fontes de radiação artificial empregam-se as lâmpadas actínicas, de luz negra, solares, germicidas e de ozônio. São definidas as seguintes faixas para a radiação ultravioleta [13]:

- UV-C 100 a 280 nm;
- UV-B 280 a 315 nm;
- UV-A 315 a 400 nm.

A radiação infravermelha é aquela que antecede vermelho no espectro eletromagnético. Divide-se igualmente em três faixas: IR-A, IR-B e IR-C. É percebida sob a forma de calor sendo utilizada na indústria, agricultura e medicina. Para a produção de infravermelho empregam-se lâmpadas de onda curta, media e longa, cuja definição é função do tempo de resposta, variando da ordem de um segundo a dez minutos, respectivamente. A comissão Internacional de Iluminação divide, também, em três regiões a radiação infravermelha [13]:

- IR-A 780 a 1.400 nm;

- IR-B 1.400 a 3.000 nm;
- IR-C 3.000 a 1 mm.

### 3.4.2. Características da matéria

Para cada comprimento de onda correspondente tem-se uma cor específica. Assim a quantidade de cores que podem existir são inúmeras. O fenômeno de coloração, percebido sobre os corpos, é o resultado da reação de partículas eletricamente carregadas frente à ação da onda eletromagnética incidente, ou seja, é preciso que uma fonte luminosa incida sobre o objeto para que o mesmo reflita a onda a qual excitará os olhos a ver os diversos comprimentos de onda podendo assim perceber as cores. Os objetos não tem cor, mas sim, certa capacidade de absorver, refratar ou refletir determinada radiação luminosa. Quando a luz se propaga num corpo, a velocidade depende do comprimento de onda de seus componentes, causando sua decomposição em faixas coloridas. As cores aparecem devido à decomposição da luz branca, que está associada com a diferença de velocidade de propagação dos raios luminosos [13].

Dentre as características ópticas da matéria destacam-se a reflexão, a refração, a transmissão e a polarização. A reflexão é a devolução do raio luminoso incidente, não deixando continuar a sua propagação normal. Ocorre dependendo do tipo de superfície na qual os raios incidem e do ângulo que formam sobre a mesma, ocorrendo sem alteração dos seus componentes monocromáticos. A refração resulta na mudança de direção do raio de luz quando atravessa à superfície que separa dois meios de densidade diferentes. Este desvio de direção é provocado pela alteração da velocidade de propagação do raio luminoso. A transmissão é a passagem do raio luminoso através de um meio sem alteração de seu espectro, sendo este fenômeno característico do vidro, cristal, plásticos, água e outros líquidos. Ao passar através do material, o raio luminoso sofre uma perda por absorção. Já a polarização é a vibração das ondas do raio luminoso num único plano. Pode ser empregada na redução do ofuscamento, como é o caso dos monitores de

vídeo empregados em sistemas de computação ou na redução da luminosidade [13, 19].

## 3.5. Visão

### 3.5.1. Exigência da visão

Uma indústria 100% robotizada seria o ideal em se tratando dos problemas visuais que se tem ao realizar as tarefas mais difíceis. Mas isso não é o que acontece na realidade devido a vários motivos, como por exemplo, o caráter econômico, tempo de reprogramação, entre outros. O uso de robôs está limitado a determinadas atividades que necessitem de certa precisão ou muitas repetições ou até mesmo acesso a pontos que sejam muito difíceis. Pela visão humana passam cerca de 80% das informações relacionadas ao mundo externo, e um sistema de iluminação adequado para as atividades humanas não é mais uma questão de estética e sim uma necessidade. O desafio é adotar sistemas que sejam corretos sob o ponto de vista psicofisiológicos e ao mesmo tempo econômicos de acordo com os padrões atuais, a iluminação não é mais luxo e decoração, e sim uma necessidade permanente e indispensável à atividade humana [13].

### 3.5.2. O caráter psicofisiológico da visão

Para uma análise mais profunda, os sistemas de iluminação exigem que os especialistas em iluminação estudem e analisem o comportamento humano quanto aos aspectos físicos, fisiológicos e psíquicos quando se tratam das condições de iluminação para os ambientes. São dois os profissionais que estão intimamente ligados em estudar e analisar tais aspectos do ser humano, ligados aos sistemas de iluminação: os oftalmologistas e os profissionais em iluminação. São especialidades dos oftalmologistas maximizar as capacidades do homem quanto a sua visualização e aos profissionais em iluminação aperfeiçoar o ambiente visual considerando custo, energia, desempenho,

conforto e aparência. Estas duas especialidades sempre devem ser consultadas para se constituir dados suficientes para a execução ou analise de um sistema de iluminação [13].

O olho humano é um órgão sensorial complexo que mantém relações espaciais e temporais dos objetos e que converte energia luminosa em sinais elétricos, que são processados pelo cérebro. O raio luminoso tem seu início no sistema óptico (olho), que estimula um órgão sensorial (retina), que por sua vez encaminha pulsos via rede elétrica (nervo óptico), ao órgão formador de imagem (cérebro). Esse processo visual é visto na Figura 3 [20].

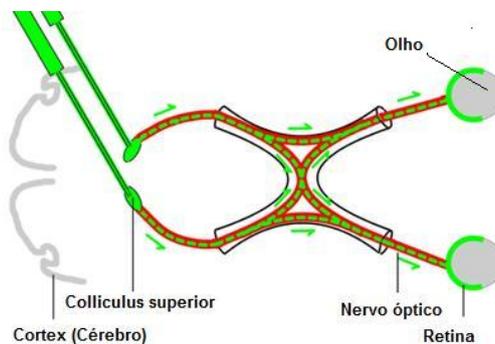



**Figura 3 – O processo visual [20].**

A visão apresenta duas características distintas e simultâneas, que são o sentido e enquadramento e que constituem o caráter psicofisiológico da visão. O sentido reconhece os objetos por sua mobilidade, forma, tamanho, cor e brilho; percebe distâncias entre observador e objeto, e posiciona-se no espaço dando ao homem o equilíbrio postural. A visão tende a enquadrar no conjunto de experiências, expectativas e conhecimentos do homem as coisas que vê. Um sistema de iluminação deverá atender a ambos e caberá ao especialista buscar o meio termo entre o econômico e o decorativo, estando sempre a par das novidades técnicas introduzidas pelos fabricantes. No caso de iluminação externa sempre deverá estar atento à segurança visual, para que ela não seja afetada [13].

### 3.5.3. O olho humano

Os olhos funcionam como uma câmara fotográfica, ambos têm uma abertura para a passagem de luz, uma lente e um anteparo onde à imagem é recebida e registrada. Como as câmaras fotográficas o olho humano é dividido em varias partes e as principais partes do olho humano serão descritas a seguir [21].

#### 3.5.3.1. A córnea

É a parte da frente do olho, o tecido transparente que cobre a pupila, onde se vê o branco do olho e a íris. Junto com o cristalino, a córnea ajusta o foco da imagem no olho [20,21].

#### 3.5.3.2. O cristalino

É o tecido transparente, uma lente gelatinosa, elástica e convergente, que cobre a pupila. Junto com a córnea, o cristalino ajusta o foco da imagem no olho, formando imagens na retina. A distância focal do cristalino é modificada por movimentos do anel de músculos ciliares, permitindo ajustar a visão para objetos próximos ou distantes. Isso se chama de acomodação do olho à distância do objeto [20,21].

O cristalino (lente) está inicialmente ajustado para uma dada distância do objeto. Se o objeto se aproxima, a imagem perde a nitidez. Para recuperá-la o cristalino se acomoda, aumentando a convergência, isto é, diminuindo a distância focal [21].

### 3.5.3.3. A íris

É aquela parte circular que dá cor ao olho. É um fino tecido muscular que tem, no centro, uma abertura circular ajustável chamada de pupila. A pupila apresenta-se preta porque a maior parte da luz que entra no olho é absorvida e não refletida para fora. Já a cor da íris é determinada pelo número de células de pigmentação (melanócitos). O diâmetro da pupila varia automaticamente com a intensidade da luz ambiente: no claro ela é estreita e no escuro se dilata. Seu diâmetro pode passar de dois mm a oito mm, aproximadamente [20,21].

### 3.5.3.4. A retina

É a camada mais interna do olho, sendo uma membrana sensível à luz, conectada ao cérebro via nervo óptico. É nela que se formam as imagens dos objetos observados. Sua função é receber ondas de luz e convertê-las em impulsos nervosos, que são transformados em percepções visuais. A retina é composta de células sensíveis à luz e para realizar esse trabalho, ela dispõe de dois tipos de receptores visuais, os cones e os bastonetes. Essas células transformam a energia luminosa das imagens em sinais nervosos que são transmitidos ao cérebro pelo nervo óptico [20,21]. O olho humano e seus componentes podem ser vistos com maior detalhe na Figura 4.

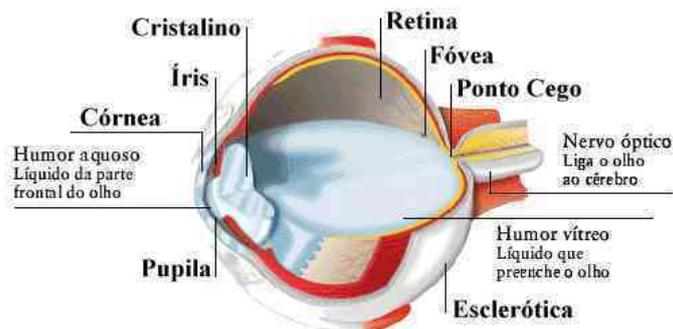



**Figura 4 – O olho humano e seus componentes [20].**

### 3.5.4. Característica do processo visual

Do ponto de vista fisiológico, as principais características do olho humano, durante o processo de visão, estão ligadas a: acomodação, adaptação, campo de visão, acuidade, persistência visual e visão de cores. Cada uma delas influi nos projetos dos sistemas de iluminação e devem ser consideradas em maior ou menor grau no momento da analise da tarefa visual que será realizada [13].

#### 3.5.4.1. Acomodação

A acomodação está ligada ao foco e permite que a visão fique mais nítida para objetos situados a diferentes distâncias. Ela diminui rapidamente com a idade e a partir dos 60 anos há uma pequena função acomodativa remanescente, que é compensada com a diminuição anormal da pupila. O fato é que à medida que as pessoas avançam a idade, necessitam de mais luz para adequar a função de acomodação [13].

#### 3.5.4.2. Adaptação

A adaptação está ligada com a abertura da pupila, que esta diretamente ligada com os diferentes níveis de iluminação. Quando existe muita luz a pupila se contrai e quando há pouca luz a pupila se dilata. Em exames sobre o processo de adaptação, foi possível se verificar que a sensibilidade da retina não só varia com diferenças luminosas, como também é variável para diferentes comprimentos de onda da radiação [13].

### 3.5.4.3. Campo visual

O campo visual está relacionado com a visão do olho esquerdo, do olho direito e com a região espacial binocular [13]. Na horizontal (Planta) o campo de visão binocular é de aproximadamente 120º e na vertical (Perfil), considerando um plano paralelo à superfície e na altura dos olhos, 50º à 60º para cima e 70º à 80º para baixo. Isto pode ser representado na Figura 5.

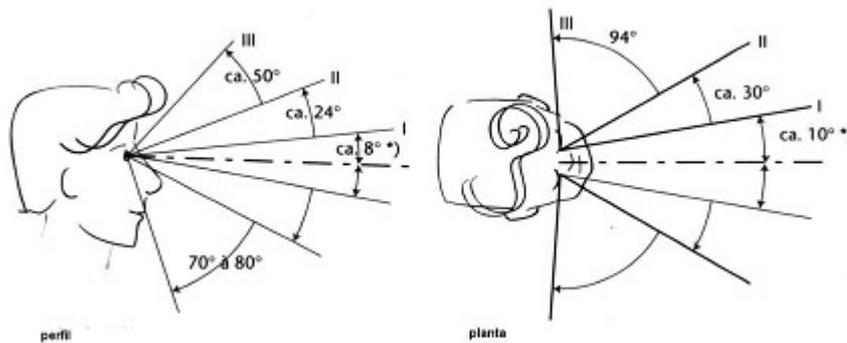



**Figura 5 – O campo visual do olho humano [22]**

### 3.5.4.4. Acuidade visual

A acuidade visual está ligada com a visão dos detalhes. De modo mais simplificado é a capacidade de ver distintamente detalhes finos que têm uma separação angular muito pequena [13, 22]. A acuidade visual é estudada através das letras de Snellen, gráficos e anéis de Landolt, que se encontram nos consultórios oftalmológicos e em centros de pesquisa de iluminação (Figura 6).

**Figura 6 – Figuras usadas na verificação da acuidade visual [23].**

Um fato muito importante é que a acuidade visual não depende só de uma boa iluminação, mas que diminui na medida em que a idade avança, sobretudo após os 50 anos. O gráfico da Figura 7 mostra que esta necessidade de maior iluminação não segue uma lei puramente exponencial, mas que pessoas na faixa etária após 50 anos têm muito mais dificuldade para enxergar detalhes, com a mesma iluminação de antes.

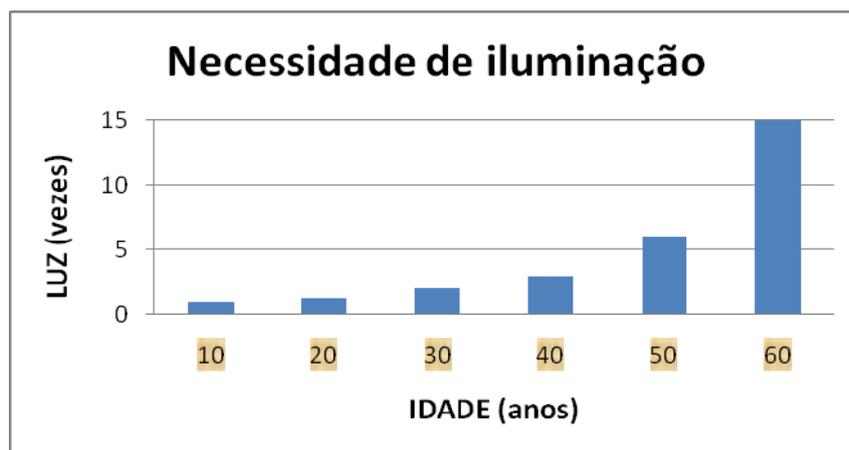



**Figura 7 – A necessidade de iluminação em função da idade [13].**

### 3.5.4.5. Persistência visual

A persistência visual é a função do processo sensibilizador do olho por ser de natureza química e, portanto, manter durante algum tempo a imagem na retina. A persistência visual pode ser de grande valia como é o caso da visualização das imagens na televisão ou no movimento de imagens no cinema. A persistência está ligada ao tempo de exposição do objeto e de sua luminosidade. Quanto maior for seu tempo de exposição e mais iluminado estiver o objeto, maior sua fixação na retina [13].

### 3.5.4.6. Contraste

Ligado à adaptação e à acuidade visual, encontra-se o contraste, que é um fenômeno com o qual se pode diferenciar cores atendendo à luminosidade, à cor de fundo sobre a qual se projetam. O maior contraste existe entre fundo branco e letras pretas, ao passo que o baixo contraste existe entre letras verdes e fundo azul. Isto se deve ao fato de que a vista se adapta a um valor de luminosidade médio [13,23].

Experiências realizadas em centros de pesquisa verificaram que existe um valor mínimo de iluminação que deve ser levado em consideração no projeto de um sistema. Estes valores estão apresentados na tabela 1, podendo servir como uma orientação ao projeto de iluminação [13].

**Tabela 1 - Valores mínimos de iluminância [lux] [13].**

| DETALHE | D / d | CONTRASTE | | |
|---|---|---|---|---|
| | Faixa | BAIXO | MÉDIO | ALTO |
| MINUSCULO | 3200 – 4200 | 20.000 | 5.000 | 2.000 |
| MUITO PEQUENO | 2450 - 3200 | 10.000 | 3.000 | 1.000 |
| PEQUENO | 1900 - 2540 | 5.000 | 1.500 | 500 |
| QUASE PEQUENO | 1500 - 1900 | 2.000 | 700 | 200 |
| MEDIO | 1150 - 1500 | 1.000 | 300 | 100 |
| GRANDE | 850 - 1150 | 500 | 150 | 50 |
| D = distância do objeto ao olho (distância habitual da visão)<br>d = tamanho do detalhe do objeto<br>Exemplo: distância do olho ao objeto = 30 cm = 300 mm<br>Tamanho do detalhe do objeto = 0.3 mm<br>Relação = 1000 Contraste: médio | | | | |

### 3.5.4.7. Ofuscamento

É o resultado de luz indesejada no campo visual, e geralmente é causado pela presença de uma ou mais fontes luminosas excessivamente brilhantes. Causa desconforto, redução da capacidade ou ambos, podendo ser direto ou refletido. O ofuscamento direto é aquele em que a fonte luminosa incide diretamente na retina, como por exemplo, quando se olha diretamente para o sol ou fonte luminosa; por ofuscamento refletido, quando o fundo da

tarefa visual dirige os raios luminosos à retina, reproduzindo uma imagem por reflexão [13]. O ofuscamento independente do tipo que ele se apresente é prejudicial, pois, a visão é prejudicada pela formação de um véu sobre o objeto. A solução sempre é examinar com cuidado a tarefa visual e adotar se possíveis luminárias ou qualquer sistema de iluminação com qualidade de luz, definidos por meio de normas internacionais.

#### 3.5.4.8. Sombras

As sombras estão ligadas com a percepção dos objetos. A sombra é uma região escura formada pela ausência parcial da luz, proporcionada pela existência de um obstáculo. Uma sombra ocupa todo o espaço que está atrás de um objeto com uma fonte de luz em sua frente. Poderão ser desejadas ou não. Serão desejadas quando há necessidade de salientar os relevos, como em esculturas e fachadas. Na atividade normal, poderá ser inconveniente e até impedirá a visão correta para execução da tarefa visual [13].

#### 3.5.4.9. Subjetividade da visão

Aproximadamente 80% das informações passam pelo olho e constantemente olho e cérebro analisam as informações que estão recebendo e as comparam com experiências passadas. A subjetividade da visão depende do indivíduo, que é capaz de separar grande número de informações, de selecionar a que é necessária, de usar as demais por comparação ou experiência, de tomar decisão e de conseguir uma visão estável, coerente e significativa do mundo que o cerca. A iluminação deve atender a tarefa visual, sendo o sistema de iluminação escolhido uma consequência decorrente [13].

## 3.6. Grandezas e unidades

O conhecimento das grandezas e unidades empregadas em iluminação é extremamente importante. Existem grandezas que influem de forma significativa na questão relacionada com a conservação de energia com eficácia luminosa, temperatura de cor e índice de reprodução de cores. Outras são conhecidas tradicionalmente como são os casos do fluxo luminoso e da iluminância, devido seu emprego constante e absolutamente necessário nos projetos de iluminação. Também se tem a luminância que está cada vez mais se inserindo no cálculo dos projetos de iluminação [13].

As grandezas empregadas em iluminação são regidas pelas leis da óptica energética e fotométrica. A óptica energética é mais abrangente e atinge todo o domínio da iluminação. Já na óptica fotométrica está ligada com o ato de ver. Das sete grandezas fundamentais de base, três são as mais utilizadas em iluminação: massa, comprimento e tempo. A estas se une uma quarta que irá completar o sistema de medidas, em luminotécnica a intensidade luminosa [13].

### 3.6.1. Fluxo luminoso

O conceito de fluxo luminoso é de grande importância para os estudos de iluminação. É a quantidade de luz, expressa em lúmens, emitida pela lâmpada, fluxo este que permite conhecer a eficiência luminosa e calcular o consumo de cada sistema através do levantamento de seu gasto energético. O fluxo luminoso é uma grandeza fotométrica derivada da intensidade luminosa, é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz. O fluxo luminoso representa uma potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. O lúmen também pode ser definido como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a uma candela. Sua unidade é o lúmen [lm] e seu símbolo é $\Phi$ [13 24,25].

### 3.6.2. Eficiência luminosa

De modo simplório eficiência luminosa, é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada, indica a eficiência com que a energia elétrica consumida é convertida em luz. Uma fonte de luz ideal seria aquela que converteria toda sua potência de entrada [W] em luz [lm]. Infelizmente, qualquer fonte de luz converte parte da potência em radiação infravermelho ou ultravioleta [13,24,25]. A unidade de eficiência luminosa no sistema internacional de unidades é lúmen/watt [lm/W] e seu símbolo é η, e pode ser representado pela Equação (1):

$$\eta = \frac{\phi}{P}\left[\frac{\text{Fluxo Luminoso}}{\text{Potência Luminosa}}\right] \quad \text{Equação (1)}$$

A eficiência luminosa permite comparar entre duas fontes luminosas, qual delas proporcionará um maior rendimento. Infelizmente por questões culturais nem sempre a fonte luminosa que oferece maior potência é a que tem melhor eficiência luminosa. Trabalhar com potência elétrica é estimar consumo e não rendimento luminoso da fonte [13,24].

A eficiência luminosa depende do comprimento de onda da radiação. O valor máximo teórico é de 683 lm/W o que corresponderia a uma fonte hipotética de radiação monocromática de comprimento de onda igual a 555 nm (cor verde-amarelo), comprimento este no qual a visão humana apresenta o pico de sensibilidade. Em geral, as fontes luminosas apresentam sua energia distribuída ao longo do espectro, apresentando valores de eficiência luminosa bem abaixo dos 683 lm/W [13,24].

### 3.6.3. Intensidade luminosa

A intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional para iluminação humana. É a potência da radiação luminosa numa dada direção. A unidade de intensidade luminosa no sistema internacional é a

candela (cd), e seu símbolo é I. Para melhor se entender a intensidade luminosa, é importante o conceito da curva de distribuição luminosa [13,25]. E pode ser definido pela Equação (2):

$$I = \frac{\phi}{\alpha}\left[\frac{\text{Fluxo Luminoso}}{\text{Ângulo sólido}}\right] \qquad \text{Equação (2)}$$

### 3.6.4. Curva de distribuição luminosa

Trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama e se representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores, cujos módulos são proporcionais às velocidades, partindo do centro do diagrama. A curva obtida ligando-se as extremidades desses vetores é a curva de distribuição luminosa. Costuma-se na representação polar, referir os valores de intensidade luminosa constantes a um fluxo de mil lumens [24,25].

A Figura 8 mostra com maiores detalhes a curva de distribuição da intensidade luminosa.

| Ângulo | I [cd] |
|---|---|
| 0° | 159 |
| 5° | 153 |
| 15° | 146 |
| 25° | 135 |
| 35° | 117 |
| 45° | 95 |
| 55° | 71 |
| 65° | 46 |
| 75° | 23 |
| 85° | 6 |

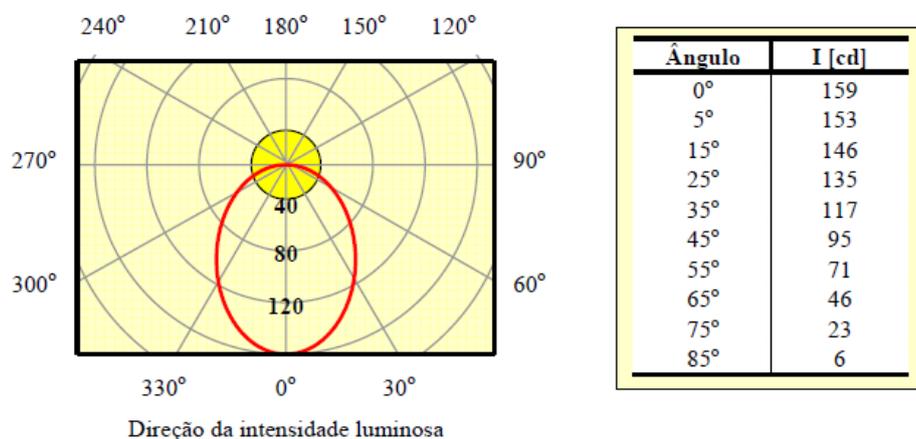



**Figura 8– Distribuição da intensidade luminosa [26].**

### 3.6.5. Iluminância

O melhor conceito sobre iluminância talvez seja uma densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual. Isto permite supor que existe um valor ótimo de luz para quantificar um projeto de iluminação. Outra forma de definição de iluminância diz que é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide, ou seja, uma superfície de 1 $m^2$ recebendo de uma fonte puntiforme a 1 m de distância, na direção normal, um fluxo luminoso de um lúmen, uniformemente distribuído, como pode ser visto na Figura 9. Sua unidade no sistema internacional é lúmen/$m^2$ ou lux [lx] [13,24,25]. Os valores relativos à iluminância foram tabelados, e no Brasil eles se encontram na NBR 5413 – iluminância de interiores, que segue a tendência da norma internacional.

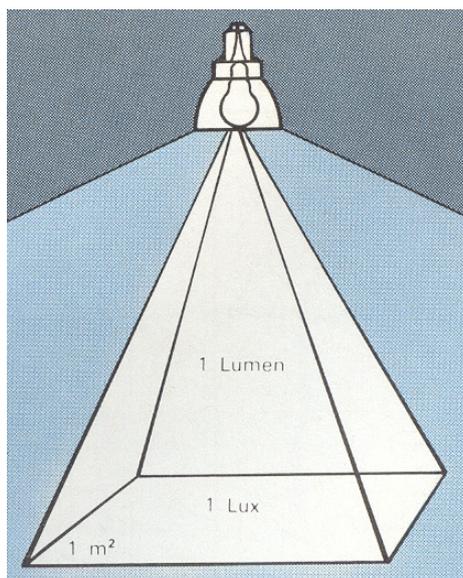



**Figura 9– A iluminância está relacionada com a densidade de fluxo [26].**

A iluminância pode ser representada pela Equação (3):

$$E = \frac{\phi}{A}\left[\frac{\text{Fluxo Luminoso}}{\text{Área}}\right] \quad \text{Equação (3)}$$

Exemplos de iluminância:

a) Dia ensolarado de verão em local aberto » 100.000 lux

b) Dia encoberto de verão » 20.000 lux

c) Dia escuro de inverno » 3.000 lux

d) Boa iluminação de rua » 20 a 40 lux

e) Noite de lua cheia » 0,25 lux

f) Luz de estrelas » 0,01 lux.

O nível de iluminância média adequada a uma tarefa visual é extremamente importante. O primeiro passo inicial para efetuar um projeto de iluminação é verificar o nível que é compatível com a tarefa realizada. O nível de iluminância média adotado pela ABNT, através da NBR 5413. Seus valores conduzem aos apresentados na Tabela 2 e é distribuído em três faixas (A, B e C), tendo cada faixa três conjuntos de três valores cada – mínimo, médio e máximo, cuja seleção é realizada por meio de uma ponderação de fatores [13].

A obtenção do valor destes níveis é subjetiva, sendo obtido mediante pesquisa. A atividade de pesquisa não é tão simples assim, pois, fatores estão ligados com o desempenho visual como a idade, o estado psicológico dos indivíduos, às dimensões do ambiente e sua decoração, ao tipo de tarefa que está sendo executada. Um nível baixo de iluminação produz cansaço visual, por outro lado um nível elevado conduz a irritação dos olhos. Em qualquer um desses casos isto será traduzido numa redução do trabalho. Em geral, para atividades comuns, uma iluminação de 500 lux é perfeitamente satisfatória. Atualmente a tendência é de que se procure uma iluminação geral até no máximo 1000 lux. É ainda recomendável que o mínimo aceitável em ambientes internos seja 200 lux e que a diferença entre o valor mínimo e máximo recomendável em áreas adjacentes seja de um quinto [13].

**Tabela 2 -** Especificações para iluminância – ABNT e IESNA

| FAIXA ABNT | CATEG. IESNA | ILUMINÂNCIA [LUX] | | | TIPO DE ATIVIDADE (tarefa visual) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | min | méd | max | |
| A | A | 20 | 30 | 50 | Área publica com corredores escuros. |
| | B | 50 | 75 | 100 | Orientação simples para permanência curta (exemplos: corredores, depósitos). |
| | C | 100 | 150 | 200 | Recintos não usados para trabalho onde as tarefas visuais são ocasionalmente executadas (exemplos: salas de espera, salas de recepção). |
| B | D | 200 | 300 | 500 | Tarefas com requisitos visuais limitados ou o objetados, onde o contraste é elevado ou o objeto de grande tamanho (exemplos: escrita a tinta, datilografia, material impresso, trabalho bruto de maquinaria, auditórios). |
| | E | 500 | 750 | 1000 | Tarefas com requisitos visuais normais, contraste médio, objetos de tamanho médio (exemplos: escrita com lápis macio, material impresso de reprodução pobre, trabalho médio de maquinaria, escritórios). |
| | F | 1000 | 1500 | 2000 | Tarefas com requisitos especiais, baixo contraste, objetos de tamanho pequeno (exemplos: gravação manual, escrita com lápis duro em papel de baixa qualidade de inspeção, trabalho fino de maquinaria). |
| C | G | 2000 | 3000 | 5000 | Tarefas visuais exatas e prolongadas, baixo contraste, objetos de tamanho muito pequeno (exemplo: inspeção difícil, trabalho industrial muito fino, eletrônica de tamanho pequeno). |
| | H | 5000 | 7500 | 10000 | Tarefas visuais muito exatas, muito prolongadas (exemplo: montagem de microeletrônica, montagem de relojoaria, costura). |
| | I | 10000 | 15000 | 20000 | Tarefas visuais muito especiais, contraste baixíssimo (exemplo: procedimentos cirúrgicos, atelier de alta costura). |

Conforme a Tabela 3 atribuí-se pesos a cada um dos quesitos para escolha entre iluminância mínima, média e máxima. Quando a soma algébrica da ponderação for igual a -2 ou -3 adota-se a iluminância mínima, ao passo que quando a ponderação resultar em um valor +2 ou +3, adota-se a iluminância máxima [13].

**Tabela 3 - Seleção entre iluminância mínima e máxima**

| Característica da tarefa e do observador | PESO | | |
|---|---|---|---|
| | -1 | 0 | +1 |
| Idade média do observador | < 40 | 40 - 55 | > 55 |
| Velocidade e precisão | Sem importância | Importante | Critica |
| Refletância do fundo da tarefa | > 0,70 | 0,30 – 0,70 | < 0,30 |

### 3.6.6. Luminância

É um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga. No passado denominava-se de brilhança, considerando como uma medida física do brilho de uma superfície iluminada ou fonte de luz, indicando que a luminância está ligada ao brilho. A diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto que o brilho é a resposta visual; a luminância é quantitativa e o brilho é sensitivo. É a diferença entre zonas claras e escuras que permite que se aprecie uma escultura, que se aprecie um dia de sol. As partes sombreadas são aquelas que apresentam a menor luminância em oposição às outras mais iluminadas [13,24,25].

Por definição, luminância é a razão da intensidade luminosa (*dI)*, incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área aparente (dA) vista pelo observador, quando esta área tende a zero. Área aparente significa que é a área projetada, aquela que é vista pelo observador. Por exemplo, quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície esta área aparente é a própria área da superfície, caso contrário é proporcional ao cosseno do ângulo α, como mostra a Equação (4):

$$L = \frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dA}}.\cos\alpha \qquad \text{Equação (4)}$$

Onde:

*L*: luminância [cd/m$^2$].

A: área da superfície [m$^2$].

α: direção da observação [°].

I: intensidade luminosa [cd].

## 3.7. Softwares para simulação de iluminação

Por muitos anos os projetos de iluminação baseavam-se nos catálogos de fabricantes e em aproximações, que poderiam ter efeito positivo ou não no projeto de iluminação de determinado ambiente. A falha ou o acerto no projeto de iluminação, por muito tempo dependeu da experiência profissional dos projetistas. Atualmente tem-se disponíveis ferramentas para a realização de projetos de iluminação para auxiliar esses projetistas, baseados nas mais recentes pesquisas e normas mundiais. A ferramenta faz com que eles busquem chegar à simulação mais real possível, objetivando o acerto em 100% dos projetos de iluminação. Algumas delas estão descritas abaixo e podem ser usadas por qualquer profissional da área.

### 3.7.1. Software DIALux

**DIALux** veio de uma parceria entre o Instituto de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) e a empresa alemã DIAL GmbH. Esta empresa trouxe, em 2007, o aplicativo DIALux e segundo a própria, a FEIS foi a primeira faculdade a receber o DIALux no Brasil [27,28].

Reconhecido por inúmeras revistas internacionais de luminotécnica e arquitetura, o software é destinado ao cálculo de iluminação, desde os cálculos mais simples até os mais avançados. É completamente gratuito e utilizado atualmente por mais de trezentos mil profissionais em todo o mundo. Ele é uma ferramenta interativa para projetar e analisar desde simples ambientes residenciais ou complexas indústrias e sistemas de iluminação pública, como ruas, rodovias e parques. Atualmente, cerca de sessenta empresas de iluminação espalhadas por todo o mundo produzem catálogos eletrônicos no formato do DIALux [27,28].

Além de estar disponível em vinte e seis idiomas diferentes, o programa apresenta visualizações 3D realísticas e possibilidade de criação de vídeos e exportação/importação de arquivos DXF e DWG. Os cálculos luminotécnicos são baseados em normas internacionais e estão em contínuo

desenvolvimento, o que o torna apto para realização de projetos de alta qualidade e complexibilidade. O DIALux é desenvolvido para Windows XP, Vista e 7, seu uso é simples e intuitivo [27,28].

### 3.7.2. Software CalcuLuX

**CalcuLuX** é um programa distribuído pela Philips para auxiliar os projetistas a selecionarem e avaliarem sistemas de iluminação para diferentes aplicações. O programa é adequado para o projeto/cálculo de iluminação para campos, quadras, ruas, áreas esportivas, parques e fachadas. Ele auxilia o cálculo de diferentes produções de iluminação: vertical, horizontal, bem como determina o fator de iluminação e luminância. Na base de dados do programa pode-se encontrar uma variedade de diferentes instalações [29].

### 3.7.3. Software Lumisoft

**Lumisoft** é completo e versátil, pois oferece recursos inovadores que automatizam o processo de dimensionamento de sistemas de iluminação. Projetado para realizar operações dinâmicas e eficientes, ele possibilita a aplicação de vários modelos de luminárias em um mesmo. As principais vantagens do software são: permitir adicionar várias luminárias em um mesmo ambiente; relatório de especificação das luminárias utilizadas no projeto; relatório completo do projeto gerado automaticamente; biblioteca das luminárias Lumicenter mais comuns; guia do usuário totalmente ilustrado e de fácil utilização e menu “flutuante”, visando facilitar a utilização das principais ferramentas do programa; disponibiliza arquivos em formato IES, para utilização em outros softwares de iluminação. O Novo Lumisoft foi desenvolvido para funcionar em microcomputadores com sistema operacional Windows XP e Word (MS Office) [30]. Suas principais desvantagens são a biblioteca limitada às luminárias Lumicenter e como é pouco conhecido não é constantemente atualizado sua ultima atualização foi no ano de 2010.

# 4. Parte Experimental

Na sequência será apresentada a metodologia aplicada ao desenvolvimento do trabalho a fim de se atingir os objetivos inicialmente estabelecidos, bem como serão apresentados os equipamentos e materiais empregados. Também serão apresentados e discutidos os resultados obtidos.

## 4.1. Metodologia

Para se avaliar a possibilidade de utilização de um sistema de iluminação artificial que viabilize a realização de atividades de linha viva no período noturno, adotou-se a seguinte metodologia:

a) Levantamento junto à concessionária de distribuição de energia sobre as principais atividades executadas em linha viva;

b) Realização de medidas de luminosidade em ambiente de trabalho similar ao encontrado pelos eletricistas em dia nublado e em fim de tarde, porém com condições favoráveis para a realização das atividades de manutenção;

c) Comparação dos resultados experimentais com aqueles estabelecidos pela ABNT na norma NBR 5413;

d) Seleção do software especialista para a realização das simulações;

e) Seleção das lâmpadas com base no seu fluxo luminoso e área de aplicação;

f) Seleção das luminárias;

g) Realização das simulações a fim de se obter o valor de iluminância necessário.

## 4.2. Materiais e equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho são abaixo apresentados.

### 4.2.1. Equipamento para medida de luminosidade

Para as medições em campo foi utilizado um medidor de luminosidade ou luxímetro digital modelo LDR-225 da Instrutherm, como pode ser observado na Figura 10.

**Figura 10: Luxímetro digital modelo LDR-225 da Instrutherm [31].**

### 4.2.2. Software para cálculo do sistema de iluminação

Para as simulações foi escolhido o software DIALux versão 4.9, que foi escolhido devido ao seu fácil entendimento, por ser constantemente atualizado e seguir as normas internacionais de iluminação. Na Figura 11 pode-se observar a tela principal do software.

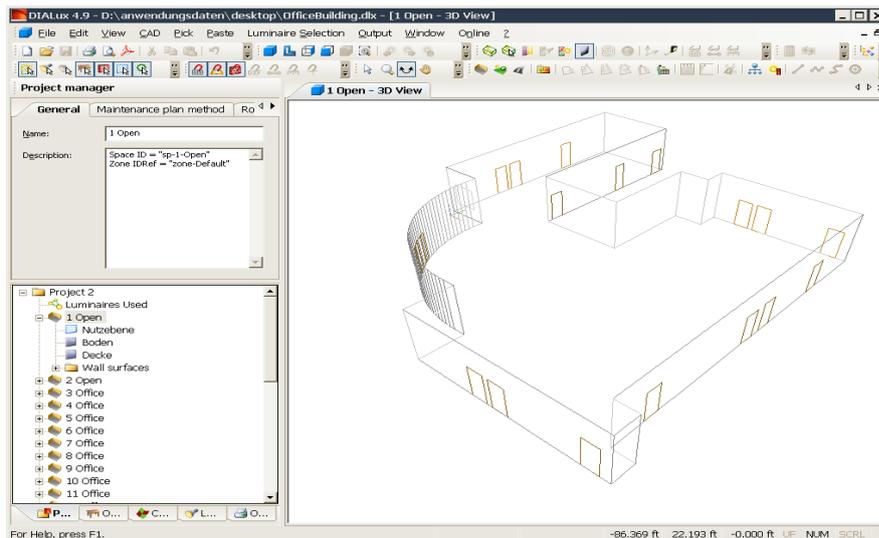



Figura 11: Tela principal do software DIALux.

## 4.3. Resultados

Na sequência serão apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho.

### 4.3.1. Principais atividades em linha viva

O levantamento das principais atividades executadas pelas concessionárias de energia baseou-se nas informações fornecidas pela empresa COELBA em função do sistema de iluminação a ser estudado possivelmente vir a ser aplicado nesta concessionária. Segundo as informações da COELBA as principais atividades executadas pelas equipes de linha viva, são as apresentadas abaixo em ordem de importância.

a) Substituição de isolador de pino;

b) Substituição de isolador ancoragem;

c) Substituição de chave fusível;

d) Substituição de conector;

e) Substituição de cruzeta;

f) Substituição de estribo ou grampo de linha viva;

g) Substituição de ferragens em estrutura;
h) Substituição de emenda de condutor nu com pré-formado;
i) Substituição de alça pré-formada;
j) Substituição de elo fusível;
k) Substituição de amarração em isolador;
l) Substituição de chave faca;
m) Substituição de para-raios;
n) Substituição de poste
o) Substituição de condutor
p) Substituição de espaçador rede *spacer*;
q) Modificar estrutura de tipo normal para beco;
r) Nivelar cruzeta;
s) Reaperto em conexão;
t) Reaperto em chave faca ou fusível;
u) Reaperto de estrutura;

Das atividades acima levantadas e discutidas com os Engenheiros de manutenção da COELBA, observa-se que somente as atividades com um grau maior de complexidade em princípio não poderiam ser realizadas no período noturno, ou seja, as atividades dos itens n, o e q.

### 4.3.2. Resultados das medidas de luminosidade em campo

Foram realizadas medidas da iluminação ambiente em um dia nublado em fim de tarde com o objetivo de se obter valores de referência em situação onde a luminosidade ambiente possibilitaria a realização de serviços de manutenção no período diurno.

Na Figura 12, pode-se ser visto um dos ensaios realizados para a obtenção da iluminância em um poste com cruzeta de madeira, realizado na rede experimental do LACTEC.

**Figura 12: Ensaios realizados de iluminância ambiente.**

Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 13.

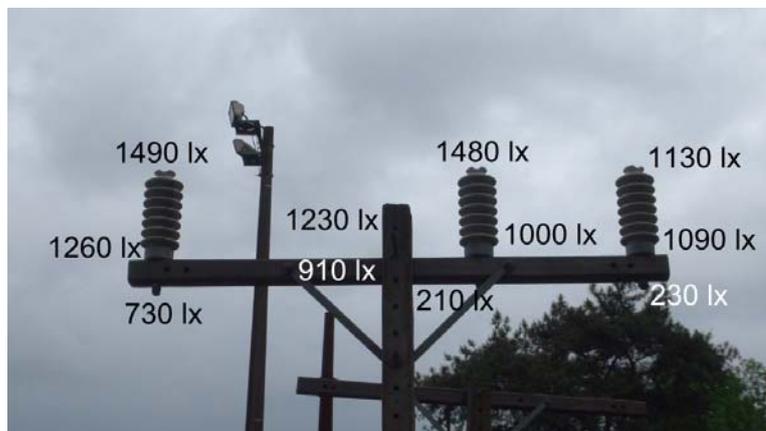



**Figura 13: Resultados das medidas de iluminância em dia nublado.**

Nos resultados apresentados na Figura 13, pode-se observar que os valores medidos são de aproximadamente 1500 lux para pontos de maiores iluminação e 200 lux para pontos de menor iluminação. A visibilidade para realização de trabalho era plena. Assim os valores de iluminância que serão buscados na realização das simulações serão entre 750 e 1500 lux, caso se deseje a reprodução da iluminação natural, porém deverão ser avaliados os valores sugeridos pela norma NBR 5413 [32].

## 4.4. Simulações

Para a realização das simulações do sistema de iluminação selecionou-se as lâmpadas com base no fluxo luminoso e área de aplicação em função dos resultados obtidos com as medidas em campo, bem como aqueles estabelecidos pela norma NBR 5413 e representados na Tabela 2. Observa-se na Tabela 2 que em função do tipo de serviço a ser realizado é indicada a Faixa B categoria E que estabelece uma iluminância média de 750 lux. Assim as simulações foram realizadas com a utilização de lâmpadas com alto fluxo luminoso para que o valor de 500 a 1000 lux fosse atendido, seguindo a orientação da norma, bem como aqueles verificados em campo. Como o fluxo luminoso decai com o quadrado da distância como pode ser visto no item 3.6.5, o uso de uma lâmpada com alto fluxo teve de ser observada para que os valores de iluminância fossem atendidos. As luminárias foram escolhidas de acordo com a lâmpada e o próprio desempenho. Assim para o sistema de iluminação foi utilizada a seguinte luminária e lâmpada:

- 2 x Philips SNF300 HPI-TP250W /6 = 500W
- Fluxo luminoso da luminária: 20500 lm
- Potência luminosa: 274.0 W
- Classificação de luminárias conforme CIE: 100
- Código de Fluxo (CIE): 64 92 99 100 81
- Lâmpada (s): 2 x HPI-TP250W/643 (Fator de correção 1.000).

O Software **DIALux** possibilita “baixar” os catálogos das empresas, e quando se escolhe determinada lâmpada automaticamente é apresentada a opção das luminárias possibilitando a escolha do conjunto que apresenta o melhor desempenho em acordo com o a curva de distribuição do fluxo luminoso.

Foram realizadas simulações com uma e duas torres de iluminação posicionadas a um raio de 3 m do entorno do poste e no máximo 1,5 m do condutor da linha. Definiu-se que as luminárias deverão ficar 4 m acima do nível da cruzeta, para que não cause ofuscamento por iluminação direta, de forma a não prejudicar a visão do eletricista que realiza o trabalho. Para esta

situação a luminária estará a uma distância média de 5 m da cruzeta e com um ângulo de inclinação de 56º, para um melhor posicionamento em relação a iluminação na cruzeta, como pode ser observado na Figura 14.

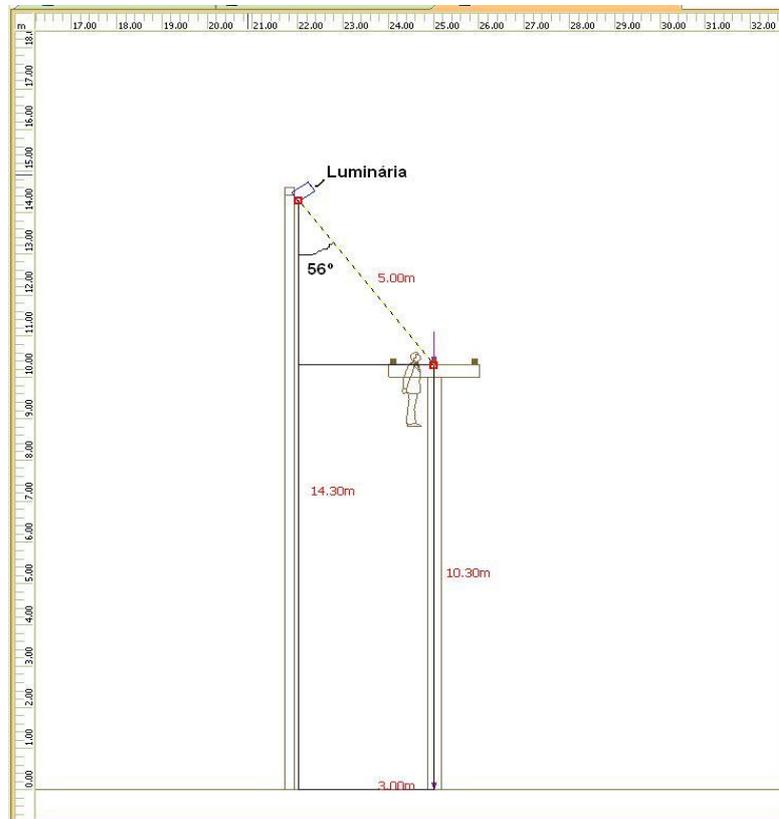



**Figura 14 – Posicionamento da torre de iluminação em relação ao poste.**

Adotando esta geometria para as simulações com uma torre variou-se seu posicionamento a cada 10º e foram feitas simulações e medições das iluminâncias. Com duas torres seguiu-se o mesmo procedimento, porém com uma torre de iluminação em cada lado do poste e tomando-se o cuidado de ficar no máximo a uma distância de 1,5 m do condutor.

### 4.4.1. Simulações com uma torre de iluminação

As simulações para uma torre de iluminação seguiram o esquema apresentado na Figura 15. A torre está posicionada em um raio de 3 m considerando como centro o poste a ser iluminado e, a partir da linha

horizontal, a posição da torre de iluminação foi alterada a cada 10º para cada simulação nos quadrantes superior e inferior. A variação máxima foi de 40º, pois acima desta angulação a torre ficaria numa distância inferior a 1,5 m do condutor, distância esta não mais segura, devido a problemas com choques e arcos elétricos.

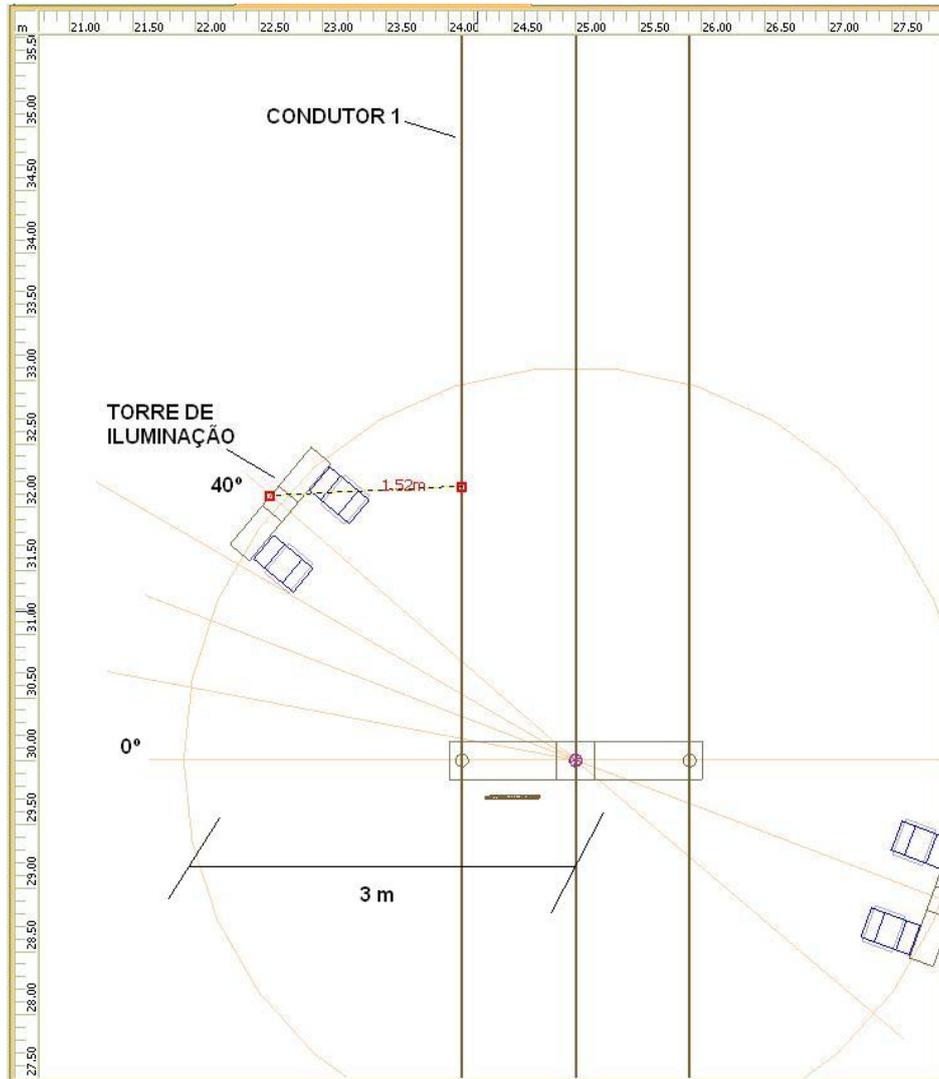



**Figura 15 – Esquema de variação da torre de iluminação para simulação.**

Foram realizadas nove simulações para se obter a iluminância, sendo estas nas posições de 0º, 10º, 20º, 30º e 40º, tanto no quadrante superior como no inferior. Foi percebido, nas simulações, que os valores de iluminância são iguais nos dois quadrantes. Para realizar o cálculo da iluminância foi usada a ferramenta do software denominada de superfície de cálculo. Essa superfície de cálculo é um plano que mede a iluminância numa região determinada a sua

escolha. Na simulação foram usadas duas superfícies de cálculo: a primeira foi determinada 1 cm de altura da base superior no plano horizontal da cruzeta; e a segunda foi determinada centrada na base do poste no plano horizontal numa área de 10 $m^2$ entorno do mesmo para que fosse medida a iluminância na região próxima a estrutura. Os resultados obtidos nas superfícies de cálculo observados na Figura 16 e Figura 17, tem como base o melhor resultado de simulação com uma torre de iluminação que foi na posição de 0º.

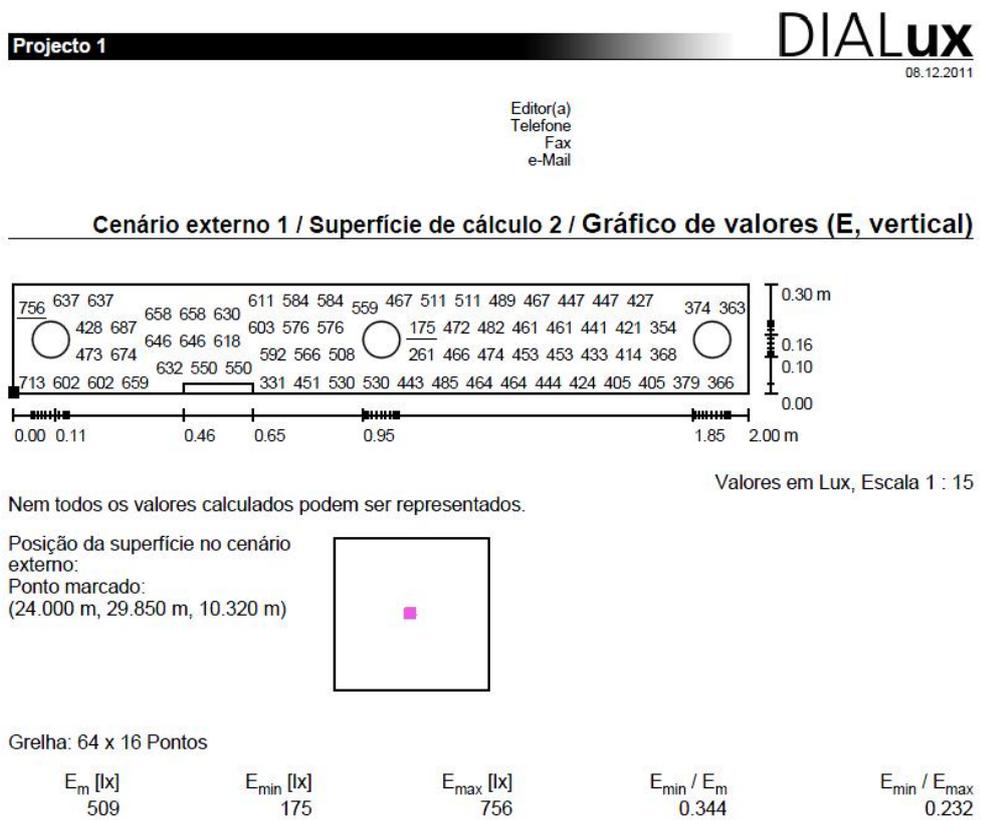



**Figura 16 – Resultado da simulação de iluminância na cruzeta para uma torre de iluminação na posição 0º.**

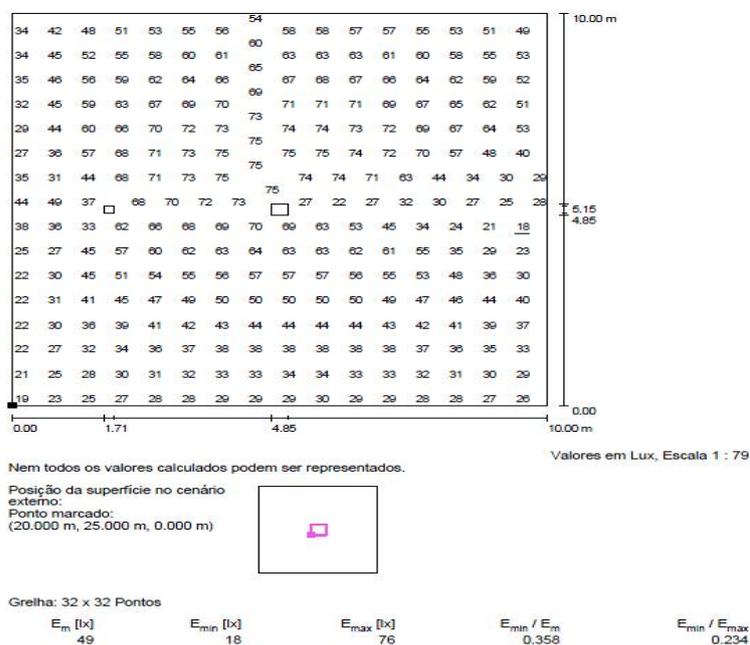



**Figura 17 – Resultado da simulação de iluminância na área entorno do poste para uma torre de iluminação na posição 0º.**

Foi também observado como ficaria a Iluminância nas partes laterais do poste com outra ferramenta do software, chamada de representação de cores falsas. Esse tipo de representação mostra a iluminância das regiões separadas por diferentes cores, e cada cor é um valor de iluminância diferente. A Figura 18 representa a melhor iluminância lateral, que foi obtida na posição de 40º. A iluminação lateral é muito importante para um eletricista, pois é uma região onde ele deve escolher as ferramentas necessárias para realizar o trabalho.

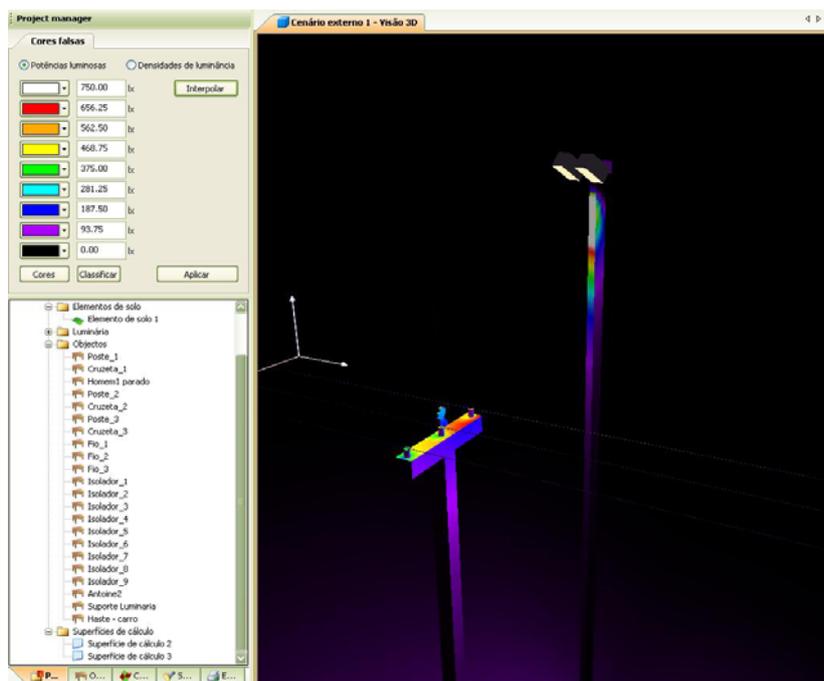



**Figura 18 – Resultado da representação de cores falsas para uma torre de iluminação na posição 40º.**

Seguindo a mesma metodologia foram realizadas e analisadas todas as nove simulações, e optou-se por apresentar os resultados em forma de tabela, devido a grande quantidade de figuras. Na Tabela 4 são apresentadas todas as iluminâncias na superfície da cruzeta e na Tabela 5 a iluminância na área entorno do poste, para as posições simuladas.

**Tabela 4 – Resultado das iluminâncias na superfície da cruzeta com uma torre.**

| | | 40D | 30D | 20D | 10D | 0 | 10E | 20E | 30E | 40E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 TORRE | Lmin (lux) | 108 | 103 | 138 | 181 | 175 | 181 | 138 | 103 | 108 |
| | Lmax (lux) | 639 | 680 | 719 | 751 | 756 | 751 | 719 | 680 | 639 |
| | Lmed (lux) | 527 | 531 | 532 | 531 | 509 | 531 | 532 | 531 | 527 |

**Tabela 5 – Resultado das iluminâncias na área entorno do poste para uma torre de iluminação.**

| | | 40D | 30D | 20D | 10D | 0 | 10E | 20E | 30E | 40E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 TORRE | Lmin (lux) | 0,19 | 0,21 | 0,04 | 0,1 | 18 | - | - | - | - |
| | Lmax (lux) | 77 | 77 | 73 | 75 | 76 | - | - | - | - |
| | Lmed (lux) | 48 | 48 | 20 | 32 | 49 | - | - | - | - |

### 4.4.2. Simulações com duas torres de iluminação

Para as simulações com duas torres aplicou-se a mesma metodologia utilizada para as simulações com uma torre, variando as posições desta a cada 10º, porém mantendo-se uma torre fixa em um dos lados do poste, em três posições distintas, ou seja, 0º, 20º e 40º, e a segunda torre seguiu as mesmas situações já vistas. A Figura 15 mostra uma das situações simuladas, mostrando um desenho 3D da situação onde um eletricista estaria posicionado para a realização da manutenção da rede de distribuição. Também pode se observar a posição das torres de iluminação.

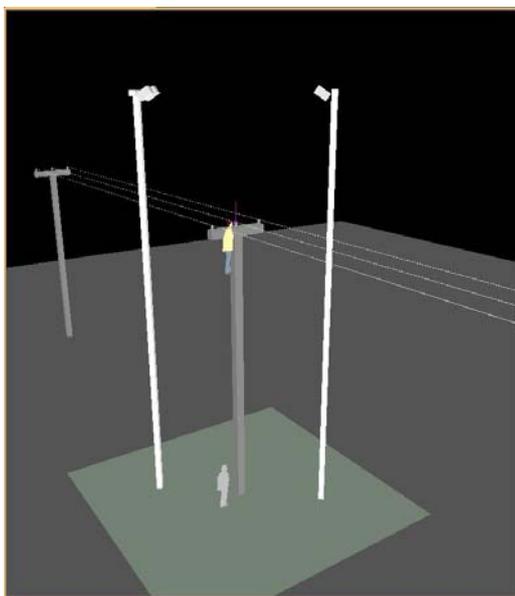



**Figura 19 – Desenho 3D da situação.**

Os resultados de iluminância obtidos para as simulações com duas torres de iluminação para as diferentes posições descritas são apresentados na Tabela 6, lembrando que estes valores e se referem a 1 cm da superfície da cruzeta. A tabela 7 apresenta os resultados de iluminância na área entorno do poste. Todas as simulações foram realizadas com o mesmo conjunto de lâmpadas e luminárias para a situação com uma torre, e todos os resultados seguem o mesmo padrão da Figura 16 e Figura 17.

**Tabela 6 - Resultado das iluminâncias na superfície da cruzeta com duas torres.**

| | | 40D | 30D | 20D | 10D | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 TORRES (FIXO EM 0º) | Lmin (lux) | 698 | 726 | 786 | 837 | 827 |
| | Lmax (lux) | 1185 | 1184 | 1169 | 1192 | 1153 |
| | Lmed (lux) | 1029 | 1049 | 1051 | 1101 | 1071 |
| | | 40º | 30º | 20º | 10º | 0º |
| 2 TORRES (FIXO EM 20º) | Lmin (lux) | 712 | 728 | 738 | 738 | 744 |
| | Lmax (lux) | 1164 | 1155 | 1155 | 1162 | 1181 |
| | Lmed (lux) | 1035 | 1049 | 1049 | 1053 | 1060 |
| | | 40º | 30º | 20º | 10º | 0º |
| 2 TORRES (FIXO EM 40º) | Lmin (lux) | 711 | 733 | 748 | 731 | 694 |
| | Lmax (lux) | 1120 | 1152 | 1166 | 1190 | 1216 |
| | Lmed (lux) | 1023 | 1040 | 1040 | 1043 | 1052 |

**Tabela 7 – Resultado das iluminâncias na área entorno do poste com duas torres.**

| | | 40º | 30º | 20º | 10º | 0º |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 TORRES (FIXO EM 0º) | Lmin (lux) | 42 | 42 | 37 | 44 | 51 |
| | Lmax (lux) | 148 | 148 | 147 | 147 | 146 |
| | Lmed (lux) | 99 | 99 | 99 | 101 | 100 |
| | | 40º | 30º | 20º | 10º | 0º |
| 2 TORRES (FIXO EM 20º) | Lmin (lux) | 31 | 26 | 28 | 33 | 43 |
| | Lmax (lux) | 147 | 146 | 146 | 145 | 147 |
| | Lmed (lux) | 96 | 97 | 98 | 99 | 99 |
| | | 40º | 30º | 20º | 10º | 0º |
| 2 TORRES (FIXO EM 40º) | Lmin (lux) | 29 | 27 | 27 | 28 | 27 |
| | Lmax (lux) | 145 | 146 | 147 | 148 | 147 |
| | Lmed (lux) | 95 | 96 | 96 | 97 | 96 |

## 4.5. Análise dos resultados

Observando-se a Tabela 5 que apresenta os resultados para as simulações com apenas uma torre de iluminação, pode-se verificar que os valores de iluminância obtidos se encontram fora daqueles buscados, ou seja, entre 750 e 1500 lux. O posicionamento da torre de iluminação não interfere consideravelmente nos valores médios considerando-se a parte superior da cruzeta, porém, quando se avalia a iluminação nas laterais do poste constata-se que o melhor posicionamento seria a $40^0$.

Com a utilização de duas torres de iluminação como pode ser observado na Tabela 6 os resultados de iluminância obtidos se encontram dentro daqueles inicialmente buscados onde se verifica que em todas as posições obtém-se um valor médio próximo a 750 lux. Com relação ao entorno da estrutura, verifica-se na Tabela 7, que o posicionamento não interfere consideravelmente sobre o valor médio da iluminância. Com relação a iluminação na lateral do poste a melhor escolha seria colocar ambas as torres na posição de 40º, desse modo se obtém a melhor iluminância lateral com uma média de 250 lux, que de acordo com a NBR 5410 fica na faixa B categoria D que é capaz de realizar tarefas com requisitos visuais limitados, onde o contraste é elevado ou o objeto de grande tamanho (exemplos: escrita a tinta, datilografia, material impresso, trabalho bruto de maquinaria, auditórios), suficiente para definir ferramentas para o trabalho na estrutura.

# 5. Conclusões

Os resultados obtidos com o levantamento bibliográfico possibilitaram verificar que não existem normas ou legislações que impeçam a realização do serviço em linha viva no período noturno. Estas normas ou legislações somente recomendam que, caso venha a se realizar este tipo de atividade, a mesma deverá fornecer aos eletricistas as condições mínimas de iluminação necessárias para a realização das atividades com segurança;

Com relação ao levantamento das principais atividades realizadas em linha viva pelas equipes de manutenção das concessionárias pode-se verificar que grande parte destas poderão ser realizadas no período noturno, pois possuem um grau de complexidade baixo;

As simulações dos sistemas de iluminação observando as condições de iluminância estabelecidas por norma e legislação, bem como por valores levantados em campo, mostraram ser possível, dentro das condições simuladas a realização das atividades de manutenção em linha viva no período noturno, desde que quando utilizadas duas torres de iluminação e se mostram impossível à utilização e uma torre de iluminação;

Como resultado geral, observa-se com a realização deste estudo que é viável a realização do serviço de manutenção de redes no período noturno, respeitando legislações e normas de segurança, bem como garantindo ao eletricista condições similares àquelas obtidas no período diurno;

Deve-se ressaltar que este estudo objetivou verificar se é possível obter-se luminosidade que atenda a legislação pertinente, porém as dificuldades que poderão ser encontradas na prática são enormes, a citar, o deslocamento do sistema, posicionamento em função da presença de obstáculos e principalmente aspectos referentes à segurança do trabalho. Para a aplicação deste sistema a análise de risco das tarefas deverá ser muito bem avaliada.

# 6. Trabalhos futuros

Com a realização deste trabalho, podem-se sugerir as seguintes linhas de pesquisa para a realização de futuros trabalhos:

- Realizar simulações com outros softwares de iluminação, e estabelecer comparação entre os resultados obtidos;
- Realizar simulações com a utilização de diferentes tipos de lâmpadas e luminárias;
- Realizar simulações com a utilização de anteparos refletores de luz posicionados em solo ou próximo às estruturas;
- Em redes de distribuição experimentais, realizar a instalação de sistemas de iluminação e realizar medidas reais da iluminância produzidas sob as condições simuladas;
- Realizar estudos e projeto estrutural do sistema de iluminação.

# 7. Referências

[1] **CABUSSÚ, M. S; RAVAGLIO, M.A.; KOWALSKI, E. L.; CHAVES, Cleuber S.S.; CERQUEIRA, Dailton P.; JUNIOR, J.A.Teixeira.** Substituição de cabos aéreos em redes de média tensão energizada. Revista CIER, Argentina, p. 77 - 85, 01 dez. 2009.

[2] **PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR**. **Decreto nº 21.017** de 29 de julho de 2010.

[3] **PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR**. **Decreto nº 20.714** de 12 de abril de 2010.

[4] **CPN-SP.** Energia elétrica: Geração, transmissão e distribuição. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo01/333_1-%20INTRODU%C3%87%C3%83O%20A%20SEGURAN%C3%87A%20COM%20ELETRICIDADE.pdf>. Acessado em: 10/11/2011.

[5] **NR-10**. Norma Regulamentadora nº10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade - Ed 2004.

[6] **NR-18**. Norma regulamentadora nº18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção – Ed 2004.

[7] **COPEL-PR.** Manual de instruções técnicas da Copel. Módulo: Procedimentos de Manutenção e Construção em Redes Convencionais e Compactas Energizadas. Número 160912, de dezembro de 2007.

[8] **PROMINP**. Apostila NR-10, CEFETRS.

[9] **SLIDESHARE**. Normas e procedimentos de linha viva. Disponível em: <http://www.slideshare.net/Santosde/servios-em-redes-de-distribuio-areas-energizadas>. Acessado em 20/11/2011.

[10] **MELO, Luiz Antonio, M.SC; LIMA, Gilson Brito Alves, D.SC; GOMES, Nelson Damieri, M.SC; SOARES, RUI, M.SC.** Artigo sobre Segurança nos serviços emergenciais em redes elétricas: os fatores ambientais.

[11] **OSHA**. Manual OSHA, PART 1926 - Safety and health regulations for construction.

[12] **WESTERNPOWER**. High voltage live work manual da Westernpower, de maio de 2010.

[13] **COSTA, Gilberto José Corrêa**, Iluminação Econômica – Cálculo e avaliação, EDIPUCRS, 1998.

[14] **REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**. Etapas da revolução industrial. Disponível em: <http://revolucao-industrial.info/>. Acessado em 01/11/2011.

[15] **UFSC.** Iluminação artificial. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-2/iluminacao_artificial/>. Acessado em 05/11/2011.

[16] **CBI.** Comitê Brasileiro de Iluminação. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/ciebrasil/>. Acessado em 05/11/2011.

[17] **FISÍCA**. Ondas eletromagnéticas. Disponível em: <http://fisicasemmisterios.webnode.com.br/products/ondas-eletromagneticas/>. Acessado em 10/11/2011.

[18] **INFO ESCOLA.** Fenômeno das cores. Disponível em: <http://www.infoescola.com/fenomenos-opticos/como-surgem-as-cores/>. Acessado em 10/11/2011.

[19] **PUC-RJ.** Propriedades ópticas. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0116459_03_cap_02.pdf>. Acessado em 12/11/2011.

[20] **SAC.** O olho humano. Disponível em: <http://www.sac.org.br/APR_FOH.htm>. Acessado em 12/11/2011.

[21] **UFRJ.** A visão humana. Disponível em: <http://omnis.if.ufrj.br/~coelho/DI/olho.html>. Acessado em 12/11/2011.

[22] **AAFESP.** Imagem de características do processo visual. Disponível em: <http://www.aafesp.org.br/conceito-anemia-falciforme.shtml>. Acessado em 20/11/2011.

[23] **MORENO, Luciano.** Fenômeno do contraste. Disponível em: <http://www.criarweb.com/artigos/teoria-da-cor-contrastes-de-cor.html>. Acessado em 12/11/2011.

[24] **CATEP.** Iluminância e cálculo luminotécnico. Disponível em: <http://www.catep.com.br/dicas/ILUMINANCIA%20E%20CALCULO%20LUMINOTECNICO.htm>. Acessado em 15/11/2011.

[25] **UNICAMP.** Luminotécnica. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>. Acessado em 18/11/2011.

[26] **ULPGC.** Imagem do fenômeno da iluminância. Disponivel em: <http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/7_OPTATIVAS/LAU/FOTOS/osrmam007.jpg>, acessado em 28/11/2011.

[27] **DIAL**. Software DIALUX de simulação de iluminação. Disponível em: <http://www.dial.de/DIAL/en/home.html>. Acessado em 20/10/2011.

[28] **ECIVIL**. Tutorial DIALUX. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/softwares/dialux_calculo_de_iluminacao.htm>. Acessado de 20/10/2011.

[29] **PHILIPS.** Pagina na internet da Philips do Brasil. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/>. Acessado em 28/10/2011.

[30] **LUMICENTER.** Software Lumisoft de simulação de iluminação. Disponível em: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/tecnologia/lumisoft.html>. Acessado em 28/11/2011.

[31] **INSTRUTHERM.** Database Luxímetro digital. Disponível em: <http://www.instrutherm.com.br/instrutherm/zoom.asp?template_id=60&old_template_id=60&partner_id=&tu=b2c&Variant=False&pf_id=05315&sku=05315&imagem=LDR-225.jpg>, acessado em 18/11/2011.

[32] **NBR 5410.** Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Procedimentos, ABNT, Rio de Janeiro, 1997.